



Prospective océan Indien

UNE PROSPECTIVE DE L'INSTITUT ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

N°7 - NOV 2017



www.cnrs.fr



SOMMAIRE

Avant-propos	P 3
Introduction	P 5
I - Paysage de la recherche française en écologie et environnement dans la zone sud-ouest de l'océan Indien	P 13
II - Les priorités des acteurs des territoires en termes de développement durable	P 25
III - Les enjeux/défis et problématiques/questions identifiés par la communauté scientifique	P 31
IV - Rencontre entre les priorités des acteurs territoriaux et les enjeux et problématiques identifiés par les scientifiques : cas des territoires de Mayotte et des Îles Éparses	P 93
V - Conclusions	P 99



Prospective

Coordination :

Marc Troussellier, CNRS,
Paris & Montpellier

Avec la collaboration de :

Aurélia Carré de Lusançay, CUFR,
Mayotte

Pascale Chabanet, IRD,

Saint-Denis de La Réunion

Thomas Claverie, CUFR, Mayotte

Edouard Michel, CNRS, Paris

François Fromard, CNRS, Toulouse

Florence Gallety, IRD, Sète

Nathalie Hervé-Fournereau,

CNRS, Rennes

Stephan Jorry, Ifremer, Plouzané

Philippe Keith, MNHN, Paris

Sylvain Lamare, Université de

La Rochelle, Paris

Mathieu Lecorre, Université de La

Réunion, Saint-Denis de La Réunion

Cédric Marteau, Préfecture des Taaf,

Saint-Pierre

Patrick Mavingui, CNRS,

Saint-Denis de La Réunion

Frédéric Ménard, IRD, Marseille

Agnès Michelot, Université de

La Rochelle, La Rochelle

David Mouillot, Université de

Montpellier, Montpellier

AVANT-PROPOS

L'océan Indien abrite dans sa zone sud-ouest des territoires français de petite dimension. Ils sont très diversifiés tant sur le plan humain, écologique que socio-économique. Ces territoires confèrent une grande emprise maritime à la France, et lui octroient de multiples responsabilités. Elles concernent les enjeux et défis du développement durable, aux différentes échelles spatiales, et les ressources en butte à des pressions humaines très contrastées.

La communauté scientifique française étudie cette région depuis longtemps. Dans le domaine de l'environnement et de l'écologie, cependant, aucune synthèse des forces, des activités et des résultats de recherche n'avait été proposée à ce jour. De même, l'absence de démarche prospective collective dont le but est d'identifier les priorités en termes d'enjeux, de problématiques et de questions, limitait la visibilité des compétences, des moyens investis et de leur niveau de complémentarité.

Le CNRS, à travers son Institut Écologie et Environnement (InEE) a initié cet exercice de synthèse et de prospective en se donnant comme intention d'y associer le plus grand nombre d'acteurs. Il s'agit des laboratoires ultra-marins et métropolitains travaillant dans la zone sud-ouest de l'océan Indien.

Un questionnaire, diffusé très largement dans la communauté scientifique, a permis d'identifier 59 laboratoires français menant des travaux dans la zone sud-ouest de l'océan Indien. Ils impliquent plus de 450 personnels.

Les résultats de cette enquête sont riches d'enseignements. Ils confirment la diversité des domaines géographiques étudiés, tant terrestres que marins, des objets d'étude et des thématiques de recherche. Celles liées aux changements climatiques et à leurs impacts, à l'écologie des communautés, à leurs interactions et leur biogéographie sont les plus développées. A l'opposé, certains domaines sont faiblement représentés. Ainsi, celui traitant des relations entre les sociétés humaines et leur environnement. Ce bilan met à la disposition de tous ceux intéressés par cette région (scientifiques, politiques, citoyens...) une base de données sur les projets en cours ou à venir (environ 150). Il comporte plusieurs entrées pour soutenir la recherche de partenaires afin de co-construire de futurs projets collaboratifs.

La partie plus spécifiquement prospective de ce document débute par une approche « expérimentale » visant à identifier la vision des acteurs non scientifiques sur les enjeux et les thématiques qu'ils considèrent comme prioritaires en termes de développement durable de leurs territoires. Bien que partielle, cette approche révèle la multiplicité des attentes dans les domaines économiques, sociaux et environnementaux d'un territoire insulaire fortement habité comme celui de Mayotte. Les systèmes insulaires non ou peu soumis à l'occupation humaine comme les Îles Éparses, voient les attentes de leurs gestionnaires se focaliser sur les aspects environnementaux, notamment en termes de protection d'éco-

systèmes à forte biodiversité. La coopération régionale apparaît aussi comme un enjeu majeur. Elle imagine un avenir partagé, pour conserver la richesse de ces territoires insulaires les plus protégés, réservoirs et sources de biodiversité à l'échelle de la région.

Organisés en ateliers de travail les représentants de la communauté scientifique ont été invités à identifier les priorités à venir en regard de thématiques scientifiques spécifiques aux objectifs du développement durable. Il apparaît que c'est tout autant au regard d'enjeux et de problématiques, faisant appel des compétences multiples, que se déclinent les attentes et les besoins des scientifiques. À ce titre les écosystèmes et les socio-écosystèmes de la zone sud-ouest de l'océan Indien constituent des entités remarquables pour comprendre les interactions hommes-milieus et en anticiper leurs futurs. De nombreux exemples en sont donnés dans ce document. En appui aux activités de recherche, la communauté scientifique française dispose déjà de plateformes techniques de différentes natures et de supports logistiques uniques à l'échelle de la région. Si la mise à niveau des outils est une préoccupation légitime, leur mise en réseau apparaît incontournable notamment en support des collaborations internationales.

Cette prospective s'achève, ou plus exactement s'ouvre, sur la rencontre entre les priorités des acteurs territoriaux et celles identifiées par les scientifiques. Il s'agit bien d'un exercice d'ouverture qui s'imposera de plus en plus à tous pour répondre aux préoccupations actuelles des gestionnaires des territoires insulaires pour lesquelles il n'existe pas de travaux de recherche amont ou qui n'intègrent pas encore les connaissances dont dispose la communauté scientifique.

La suite que donneront les organismes de recherche à cette prospective repose sur l'attention qu'ils porteront aux travaux situés aux interfaces entre disciplines, sur des systèmes intégrant les interactions entre les sociétés humaines et leurs environnements et en y déployant les outils les mieux adaptés. C'est aussi en encourageant les rencontres locales et régionales entre les acteurs non scientifiques et scientifiques, en incitant les porteurs de connaissance à partager leurs compétences et à participer à l'émergence de nouvelles voies d'adaptation aux changements locaux et globaux que les organismes de recherche et établissements de formation sont appelés à contribuer en travaillant ensemble.

Stéphanie Thiébault

Directrice de l'Institut écologie et environnement du CNRS

Marc Troussellier

Chargé de mission au CNRS-INEE

L'océan Indien, et notamment la zone sud-ouest (Figure 1), constitue une de ces régions où un exercice de prospective était attendu tant par la communauté scientifique que par les directions des organismes de recherche.

Plusieurs raisons permettent de comprendre l'intérêt que représente cette région pour les chercheurs issus de disciplines variées :

- Une forte implantation française insulaire : une Zone économique exclusive (ZEE) de 2,6 M km² (23 % des ZEE françaises) concentrée dans la zone sud (Figure 1). Des partenariats sont actifs avec les États insulaires (Madagascar, Maurice, les Comores, les Seychelles), francophones (6,2 M de francophones soit 25 % de la population de l'océan Indien).
- Une grande richesse biologique (Focus 1) support de nombreuses ressources : diversité des systèmes insulaires, écosystèmes remarquables (récifs coralliens, mangroves, herbiers marins, savanes et forêts tropicales sur des échelles altitudinales variées...) et diversité des communautés animales et végétales (2^e centre mondial de biodiversité marine tropicale²). L'endémisme marin et terrestre est également très fort : à Madagascar, certains taxons peuvent contenir plus de 90 % d'espèces endémiques.
- Des pressions anthropiques appelées à s'accroître sur les ressources : la densité des populations humaines pourrait dépasser 1000 individus par km² à l'horizon 2050 (Tableau 1).
- Un « couplage régional » des pressions anthropiques et des changements climatiques attendus qui se superpose aux risques d'extinction intrinsèques d'un grand nombre de groupes taxonomiques désignant la zone sud-ouest de l'OI comme un « hot spot » de vulnérabilité³.
- Une très grande diversité de socio-systèmes insulaires et côtiers avec des implan-

tations humaines très contrastées présentant des niveaux de développement très différents : les valeurs de PIB vont de 400 à 20 000 euros/habitant, celles de l'IDH de 0,393 à $\geq 0,771$ et le taux d'urbanisation de 25 à 95 % (Tableau 1).

- Une grande diversité de systèmes juridiques et de gouvernance institutionnelle qui fondent historiquement la construction des États modernes anglophones, francophones ou lusophones de l'océan Indien.
- Une exposition particulière aux risques climatiques qui génère des questionnements scientifiques sur les inégalités sociales et environnementales notamment en termes de santé publique et de capacités d'adaptation et de résilience des populations.
- Une très faible part (2,5 %) de récifs coralliens de la zone peut être considérée comme relativement isolée des influences humaines car située à plus de 10 heures de temps de trajet des plus proches implantations humaines⁴. 31 % des ces récifs isolés se situent en territoire français, ce qui implique une forte responsabilité en termes de protection de ces derniers refuges de la vie marine dans cette zone.
- Près de 8 000 km² de mangrove, soit 5 % de la surface mondiale, mais généralement mieux préservées que dans d'autres parties du monde et diversifiées en mangrove lagunaires, estuariennes ou côtières, et insulaires et continentales.
- Des forces de recherche de la communauté scientifique française significatives, aux thématiques diversifiées et complémentaires (Focus 2), mais avec peu ou pas d'interactions.
- Des initiatives récentes montrant que ces interactions sont possibles et porteuses d'approches coordonnées sur des objets communs (e.g. Canal du Mozambique⁵ ; Îles Éparses⁶, Focus 3).

2. Obura D. (2012) The diversity and Biogeography of Western Indian Ocean reef building corals. PLOS ONE 7, e45013.

3. Finnegan, S., Anderson, S. C., Harnik, P. G., Simpson, C., Tittensor, D. P., Byrnes, J. E., ... & Lotze, H. K. (2015) Paleontological baselines for evaluating extinction risk in the modern oceans. *Science*, 348(6234), 567-570.

4. Maire, E., Cinner, J., Velez, L., Huchery, C., Mora, C., Dagata, S., ... & Mouillot, D. (2016) How accessible are coral reefs to people? A global assessment based on travel time. *Ecology letters*, 19(4), 351-360.

5. Marsac, F., Barlow, R., Terson, J. F., Ménard, F., & Roberts, M. (2014) Ecosystem functioning in the Mozambique Channel: Synthesis and future research. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 212-220.

6. Quénel, C., Marinesque, S., Ringler, D., Fillinger, L., Changeux, T., Marteau, C., & Troussellier, M. (2016) Îles Éparses (SW Indian Ocean) as reference ecosystems for environmental research. *Acta Oecologica*, 72,1-8.

L'analyse de ce contexte met principalement en avant les enjeux de protection et gestion des ressources et du devenir conjoint des écosystèmes et des sociétés insulaires. Elle interroge leur vulnérabilité et leurs capacités d'adaptation et de résilience par rapport aux pressions globales et locales et aux risques qui leur sont associés. Ces enjeux et les problématiques qui les accompagnent sont largement partagés au plan régional⁷. La Convention pour la protection, la gestion et le développement de l'environnement marin et côtier de la région de l'Afrique de l'Est signée le 21 juin 1985 à Nairobi (Kenya) (dite Convention de Nairobi⁸) constitue une des trames pour faciliter les actions de coopération régionale entre les 5 pays continentaux (Somalie, Kenya, Tanzanie, Mozambique et Afrique du Sud) et les 5 pays insulaires (Seychelles, Comores, Madagascar, Maurice et la France (La Réunion)).

Le développement durable des territoires marins et insulaires de la zone sud-ouest de l'océan Indien constitue donc le cadrage général de la présente prospective.

Ce document de prospective s'appuie tout d'abord sur une description des activités de la communauté scientifique française, impliquée dans la zone géographique, recensée principalement à travers une enquête adressée aux équipes de recherche relevant des principaux organismes de recherche français (section I). Il se poursuit par l'identification des priorités des acteurs institutionnels des territoires français à travers l'analyse de leurs réponses à un questionnaire qui leur a été proposé (section II). Les principaux enjeux/défis, les problématiques/questions que la communauté scientifique perçoit sur les territoires concernés font l'objet de la section III. La réflexion issue de groupes de travail a identifié des thématiques spécifiques et d'autres plus transversales, des écosystèmes et des interactions homme-milieux remarquables ainsi que les outils au service de la communauté.

Dans une dernière section, il est proposé de croiser les priorités des acteurs des territoires avec celles de la communauté scientifique pour Mayotte et pour les Îles Éparses, les deux territoires français pour lesquels les données ont pu être recueillies (section IV).

Tableau 1. Quelques données clés sur les caractéristiques socio-économiques des pays de la zone sud-ouest de l'océan Indien. Les données sont rangées par ordre décroissant du PIB.

Territoire	Superficie (103 km ²) ¹	Population mi-2015 (millions) ¹	Densité de population (habitants/km ²) ¹		% urbain 2013 ²	Indice de développement humain 2013 ³	PIB 2013 (/habitant) ⁴
			2015	2050			
France métropolitaine	552	64,3	116	130	86,9	0,884	38408
La Réunion	2,5	0,9	360	480	95,0	na	19296
Seychelles	0,5	0,09	180	200	54,4	0,756	14142
Maurice	2,0	1,3	650	600	41,8	0,771	8541
Mayotte	0,4	0,23	575	1250	50,0	na	8370
Afrique du Sud	1221	55,0	45	53	62,9	0,658	6208
Kenya	580	44,3	76	140	24,8	0,535	1133
Tanzanie	945	52,3	55	137	27,6	0,488	820
Comores	2,2	0,8	364	591	28,2	0,488	718
Mozambique	802	25,7	32	91	31,7	0,393	545
Somalie	638	11,1	17	42	39,0	na	469
Madagascar	587	23,0	39	90	33,8	0,498	417

1. Pison G. (2015) Tous les pays du monde. Population & Sociétés, 525 : 1-8.

2. <http://esa.un.org/migmgprofiles/indicators/files/>

3. Malik et al. (2014) Pérenniser le progrès humain : réduire les vulnérabilités et renforcer la résilience. Rapport sur le développement humain 2014. PNUD, New York, ix + 246 p.

4. <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDRPCARCD>

7. UNEP-Nairobi Convention and WIOMSA (2015) The Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean. UNEP and WIOMSA, Nairobi, Kenya, 546 pp.

8. <http://www.unep.org/NairobiConvention/>

FOCUS 1

L'océan Indien et ses diversités...

La zone ouest de l'océan Indien s'étend sur une large gamme de latitudes, de celle de la Somalie à celle de la pointe de l'Afrique du Sud (Figure 1). Les climats y sont aussi très différents : régime de mousson intense au nord et tempéré au sud. La diversité des paysages et des habitats tropicaux et subtropicaux et celle des espèces animales et végétales font de cette zone une des plus riches et des plus importantes à étudier de notre planète (cf. tableau ci-après), ce d'autant plus qu'une grande partie des populations humaines, notamment celles vivant sur les îles, dépendent fortement des ressources biologiques et sont particulièrement exposées à des aléas multiples.

Tableau 2. Illustration de la diversité des espèces dans l'océan Indien : l'exemple de Mayotte. Nombre d'espèces connues dans les écosystèmes terrestres (île : 376 km²) et marins (lagon : 1500 km²). Entre parenthèses, nombre d'espèces endémiques. D'après IUCN (2013)¹.

Groupe	Terrestre	Marin	Groupe	Terrestre	Marin	Groupe	Terrestre	Marin
Bactéries	?	?	Spongiaires	-	96	Echinodermes	-	89
Champignons	235	?	Cnidaires	-	> 450	Poissons	27	760 a, b
Microalgues	114	67	Mollusques	98 (49)	971	Amphibiens	2	
Macroalgues	-	86	Arachnides	?	-	Reptiles	18 (7)	5
Bryophytes	94 (48)	10	Myriapodes	?	-	Oiseaux	130 (2)	
Ptéridophytes	73	-	Crustacés	11 (9)	597	Mammifères	11 (3)	24
Phanérogames	1317 (48)	10	Insectes	394 (31)	-	TOTAL	2524 (197)	3165

? : pas de données disponibles ;

- : pas d'espèces connues ;

a : dont 144 espèces d'intérêt commercial ;

b : la plus forte richesse des îles de la zone SO de l'OI.

Les populations humaines sont elles aussi diverses du fait de leurs origines et de leurs histoires politiques aux trajectoires contrastées. Elles le sont aujourd'hui tout autant en regard des inégalités socio-économiques que révèlent les indicateurs de développement (Tableau 1).

Les interactions entre les sociétés humaines et les systèmes naturels sont multiples et leurs limites se manifestent de plus en plus notamment dans les territoires où la densité démographique augmente sous l'effet de forts taux de natalité, mais aussi de mouvements migratoires fruits des inégalités économiques et sociales entre territoires parfois très proches. Le gradient d'exposition des systèmes naturels aux pressions anthropiques est très vaste, allant des écosystèmes considérés comme proche de l'état « zéro pression » (e.g. Îles Éparses) à ceux subissant des pressions maximales en regard des densités de population et de la faiblesse des systèmes d'épuration (e.g. Mayotte).

1. IUCN France (2013) Propositions pour une Stratégie biodiversité pour un développement durable de Mayotte. Diagnostic et enjeux. Mayotte, France.120 pages.

FOCUS 1 (Suite)

Paradoxalement, l'identification de nouvelles ressources (minérales, énergétiques, touristiques) vecteurs de développement économique pour certains pays peut devenir la source de menaces environnementales supplémentaires et d'accroissement d'inégalités socio-économiques, voire d'en générer de nouvelles. Ces configurations peuvent aussi exacerber les tensions diplomatiques régionales auxquelles la France n'échappe pas.

Ici, comme ailleurs, la diversité et la multiplicité des niveaux de décision constituent des obstacles sérieux à une démarche intégrée, au plan géographique comme thématique, vers un développement qui puisse être véritablement durable. L'inadéquation, voire la carence d'instruments juridiques consacrés à l'insularité remet en question les objectifs de conservation, de protection et de gestion de l'environnement. Les besoins et les attentes en termes de formation notamment dans le domaine environnemental sont à combler de façon prioritaire. De même, les capacités de recherche *sensu lato*, y compris celles dédiées au domaine du développement durable et des différentes disciplines qui peuvent y contribuer, sont très inégalement réparties et soutenues (cf. tableau ci-après). Un des principaux défis à l'échelle de cette région si contrastée et disposant d'un large potentiel de richesses naturelles et humaines est bien celui des coopérations et du partage des capacités tout autant que des connaissances.

Tableau 3. Répartition des moyens de recherche dans la région sud-ouest de l'océan Indien. na indique que les données ne sont pas disponibles.

Pays ^a	% PIB dédié à la R&D (2005-2014)	Nombre de chercheurs (ETP/million d'habitant)	Nombre d'articles (2011)	Institutions gouvernementales / sciences marines	Organisations non-gouvernementales / sciences marines
Afrique du Sud	0,73	405	3125	4 (3 universités, 1 institut de recherche)	1
Comores	na	na	0	1 (université)	
Kenya	0,79	231	290	6 (5 universités, 1 institut de recherche)	1
Madagascar	0,11	51	33	3 (1 université, 1 institut de recherche, 1 station marine)	2
Maurice	0,18	181	16	3 (1 université, 2 instituts de recherche)	1
Mayotte	na	35	7	1 (université)	1
Mozambique	0,42	38	38	6 (3 universités, 3 instituts de recherche)	2
Réunion	na	370	310	3 (1 université, 2 instituts de recherche)	11
Seychelles	0,30	146	6	2 (1 université, 1 institut de recherche)	1
Tanzanie	0,38	35	121	3 (1 université, 2 instituts de recherche)	1
France	2,23	4153	31686	16 (15 universités, 1 institut de recherche, 1 agence)	na

a : les données proviennent du document de l'UNEP (2015)² sauf pour La Réunion (effectifs chercheurs (C + EC, corrigé par une population estimée à 0,9 million d'habitant) : <https://www.aeres-evaluation.fr/content/.../AERES-S1-LaReunion.pdf>; nombre de publications (2011) : http://hal.univ-reunion.fr/search/index/q/%2A/sort/producedDate_tdate+desc/rows/100/docType_s/ART/) et Mayotte (effectifs (EC, corrigé par une population estimée à 0,23 million d'habitants) : <http://www.univ-mayotte.fr>; nombre publications (2015) : données extraites du Web of Science).

² UNEP-Nairobi Convention and WIOMSA (2015). The Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean. UNEP and WIOMSA, Nairobi, Kenya, 546 pp.

FOCUS 2

L'océan Indien par rapport à la recherche en Écologie Tropicale

En référence à la prospective Écologie Tropicale¹, l'océan Indien constitue un secteur de recherche particulièrement important tel qu'il lustré dans la figure ci-après :

- 27,5 % des personnels travaillant sur les écosystèmes continentaux africains développent

des recherches en écologie dans les pays bordant l'OI (Afrique de l'Est et Australe).

- 33 % des personnels travaillant sur les écosystèmes marins tropicaux déclarent travailler sur l'océan Indien.

- Au sein de l'océan Indien, la zone sud-ouest compte pour 42 % des effectifs impliqués.

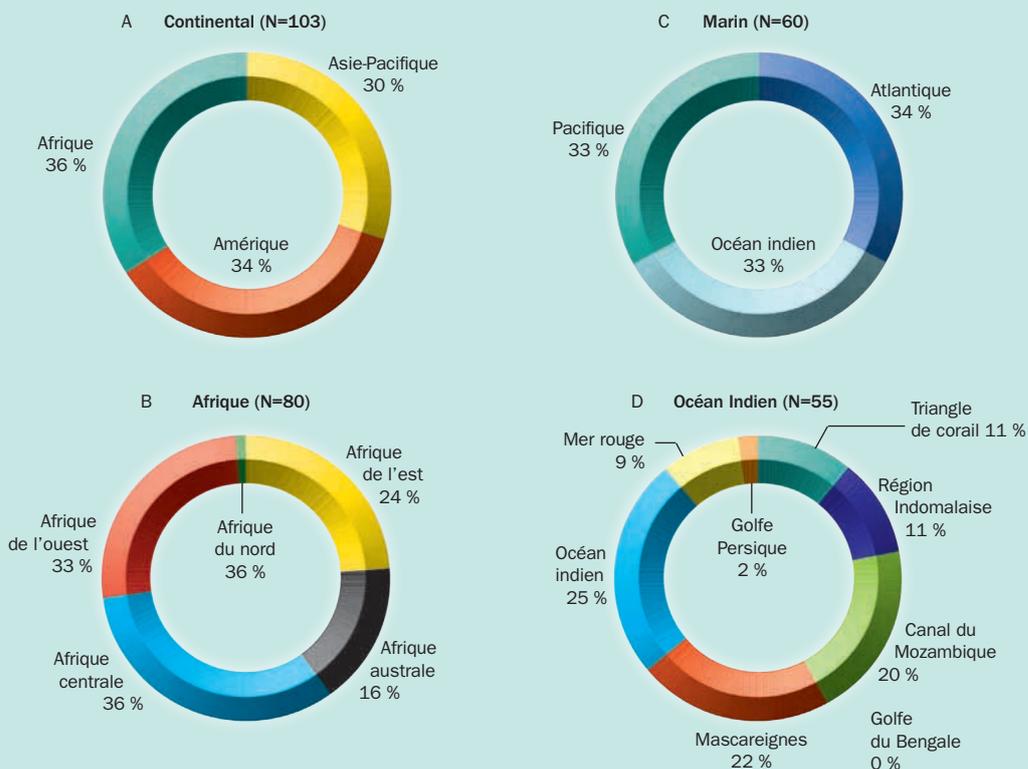


Figure 2. Implication des unités de recherche dans le domaine de l'écologie tropicale.

Répartition des personnels impliqués :

- (a) entre les trois continents
- (b) en Afrique
- (c) entre les trois ensembles océaniques
- (d) au sein de l'océan Indien

1. Pierre-Michel Forget et al. (2014) Prospective Ecologie Tropicale. Prospective de l'Institut Ecologie et Environnement du CNRS, N°6, 104 p.



FOCUS 3

Le programme inter-organismes « Îles Éparses »

Les Îles Éparses sont depuis 2007¹ intégrées aux Terres australes et antarctiques françaises (Taaf) dont elles constituent le 5^e district. Elles se situent en milieu tropical, au nord de La Réunion pour Tromelin et dans le canal du Mozambique pour les Glorieuses, Juan de Nova, Bassas da India et Europa.

Le 5 octobre 2009, une réflexion sur l'avenir des Îles Éparses s'est ouverte lors d'un colloque organisé au Sénat « Les Îles Éparses, terres d'avenir² ». C'est ainsi qu'un programme de recherche inter-organismes a vu le jour sur l'environnement et l'écologie des Îles Éparses, soutenu par le CNRS, les Taaf, l'AAMP, l'IRD, en partenariat avec l'IPEV et l'Ifremer. Ce programme (2011-2013) animé par le CNRS-INEE avait pour objectif de développer un corpus de données et de connaissances sur les Îles Éparses pour décrire leurs composantes et leurs diversités, leurs

dynamiques passées et actuelles et leurs déterminants pour le futur. Il a permis la réalisation de 18 projets de recherche pluridisciplinaires³. Au mois de janvier 2016, 60 articles ont été publiés à partir de ces travaux dans des revues scientifiques internationales.

Figure 3. Navire océanographique « Marion Dufresne » utilisé par les Taaf en support du programme de recherche.

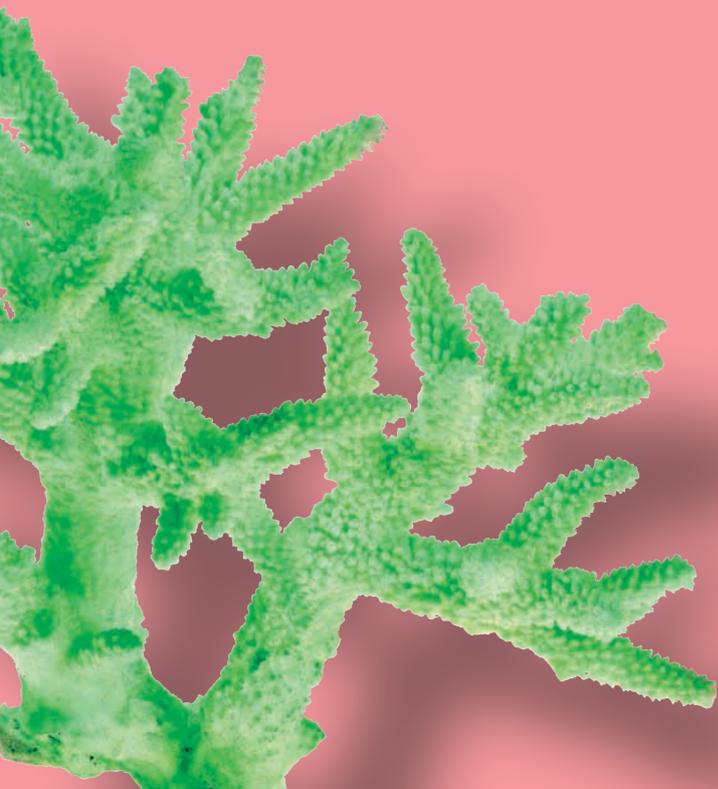


Figure 4. Trajet du Marion Dufresne lors de la première campagne du programme « Îles Éparses ».

1. loi n° 2007-224 du 21 février 2007.

2 <https://www.senat.fr/rap/r09-299/r09-2991.html>

3 Quélet, C., Marinesque, S., Ringler, D., Fillingier, L., Changeux, T., Marteau, C., & Troussellier, M. (2016) Îles Éparses (SW Indian Ocean) as reference ecosystems for environmental research. *Acta Oecologica*, 72 :1-8



I PAYSAGE DE LA RECHERCHE FRANÇAISE EN ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT DANS LA ZONE SUD-OUEST DE L'OCÉAN INDIEN



I.1

Présentation du questionnaire adressé aux équipes de recherche

Les grands types de questions abordés via le questionnaire en ligne destiné aux unités de recherches comportaient plusieurs rubriques (http://www.cnrs.fr/inee/communication/prospective_ocean_indien.html). L'objectif était de disposer d'un panorama des activités de recherche à la fois sur le plan thématique, géographique et des objets d'étude. Le questionnaire comprenait également une partie dédiée à l'identification des projets en cours et à venir. Ce questionnaire a été diffusé auprès des unités du CNRS (-INEE, -INSU, -INSB, -INC et -INSHS) et

transmis aux directions scientifiques de l'IRD, du BRGM, du CIRAD, de l'Ifremer et du MNHN ainsi qu'aux établissements d'enseignement supérieurs et de recherche locaux (Université de La Réunion et Centre Universitaire de Mayotte) pour diffusion auprès de leurs unités de recherche.

Sur les 74 unités ayant répondu au questionnaire, 59 ont indiqué qu'elles menaient des travaux sur l'océan Indien. L'analyse des réponses obtenues fera donc référence à celles de ces 59 unités.

I.2

L'implication des organismes, des unités de recherche et des personnels dans l'océan Indien

Instituts ou organismes de rattachement des unités impliquées

La figure I-1 récapitule les tutelles des 59 unités de recherche et leur fréquence d'implication dans ces unités.

De très nombreux organismes de recherche sont impliqués dans l'océan Indien à travers les unités de recherche dont ils sont tutelles. Certaines universités métropolitaines le sont également et ce de façon plus importante en nombre d'unités que les universités locales comme l'Université de La Réunion. Bien sûr, si l'on considérait non plus le nombre d'unités mais les effectifs des personnels des tutelles impliqués dans les travaux sur l'océan Indien, les rangs d'implication de ces tutelles en seraient modifiés.

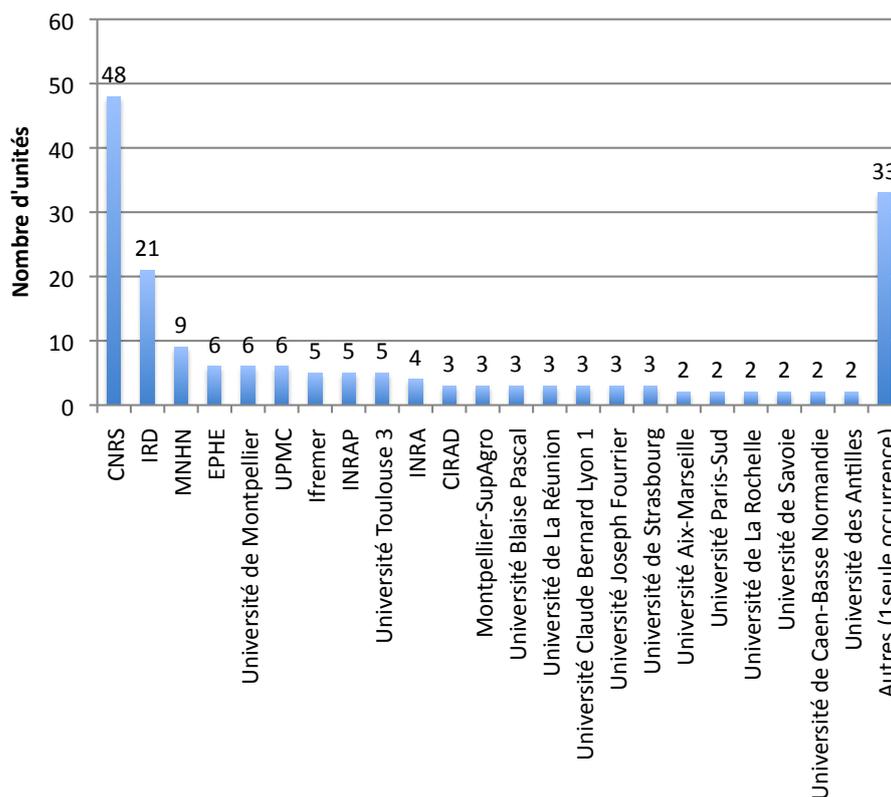
Pour les UMR CNRS, le nombre d'unités rattachées aux différents Instituts se répartit comme indiqué dans le tableau I-1.

Le CNRS-INEE apparaît comme l'institut dont le plus grand nombre d'UMR travaille sur la zone sud-ouest de l'océan Indien (ces chiffres sont à relativiser car il est très probable que les UMR qui ont le plus répondu à l'enquête sont celles qui dépendent du CNRS-INEE, l'enquête ayant été proposée par leur Institut de rattachement.)

Instituts	nb unités
INEE	35
INSU	12
INSB	1
INC	1

Tableau I-1 : nombre d'unités rattachées aux Instituts de recherche du CNRS.

Figure I-1. Les tutelles et le nombre d'unités dans lesquelles elles sont impliquées



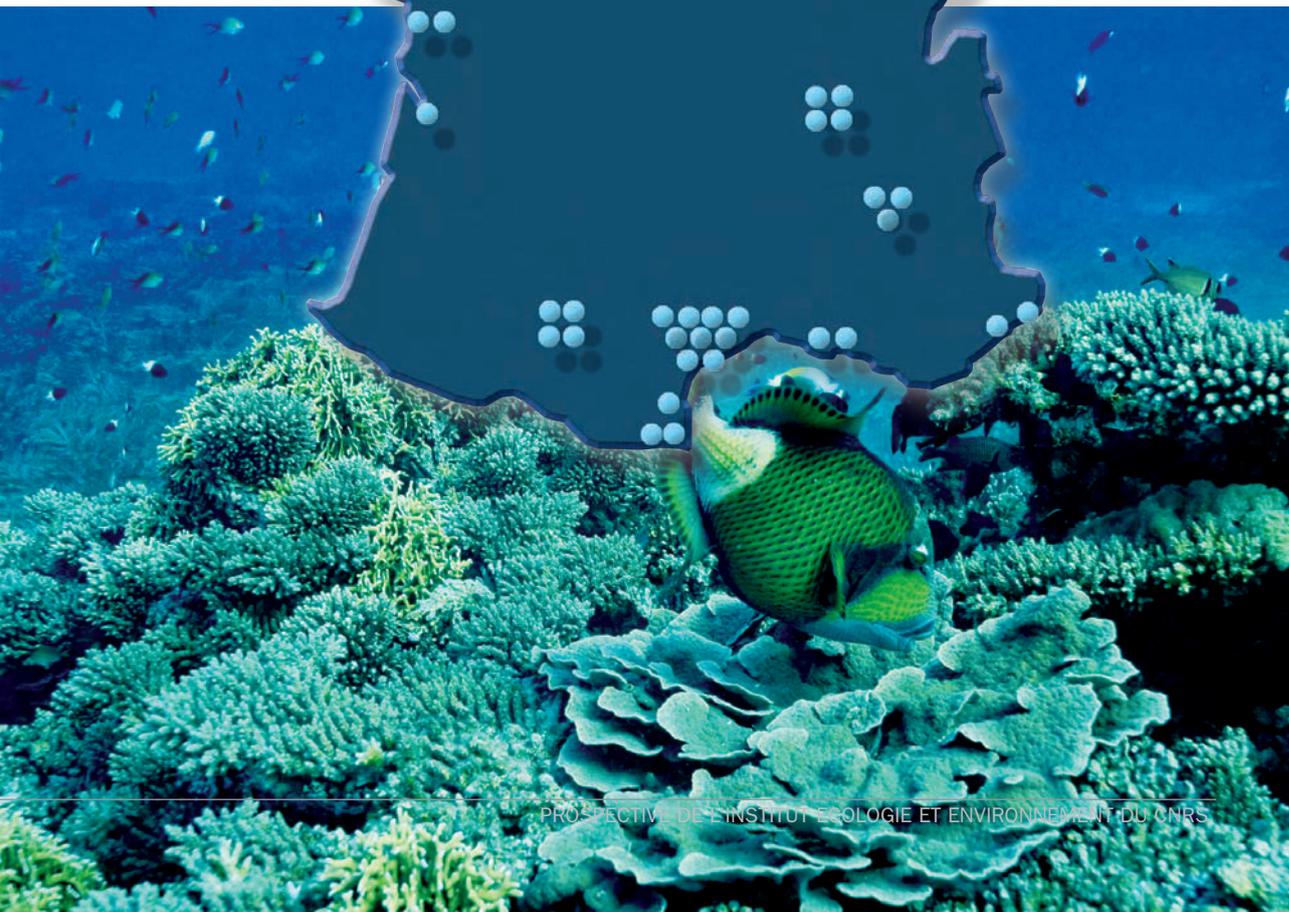
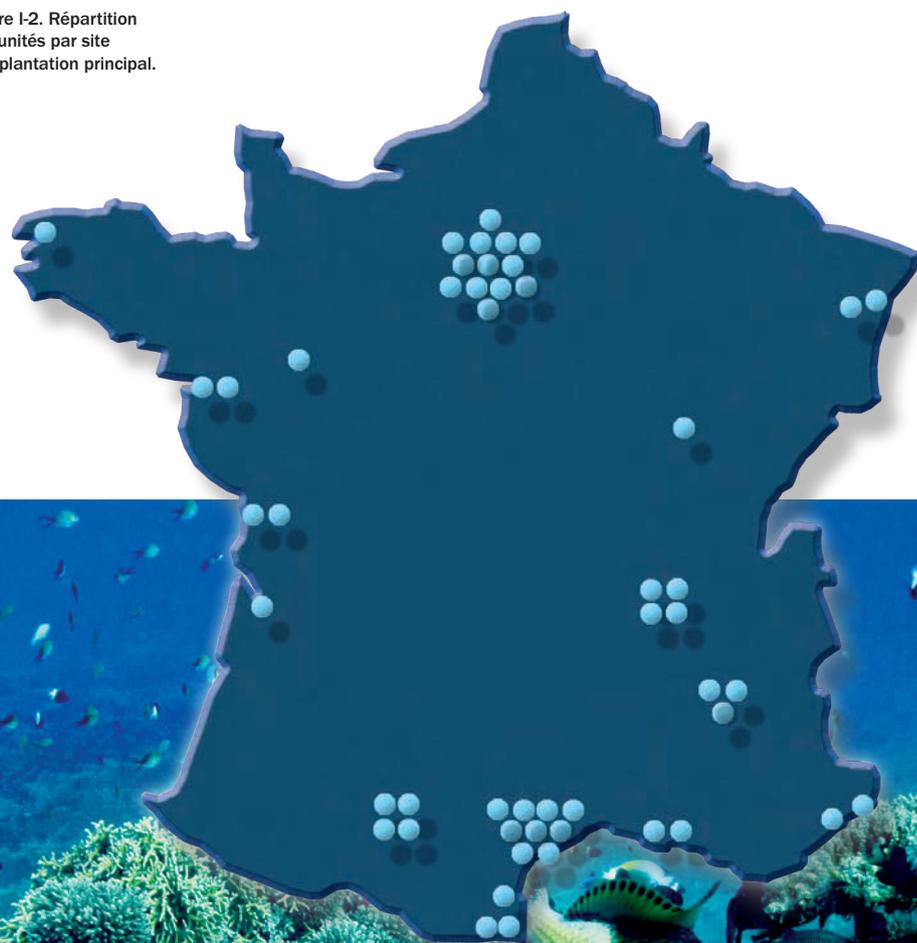
Répartition géographique des laboratoires travaillant dans l'océan Indien

Le positionnement géographique des unités de recherche ayant répondu au questionnaire est illustré à la figure I-2.

Les deux pôles géographiques métropolitains présentant le plus grand nombre d'unités tra-

vaillant dans la zone sud-ouest de l'océan Indien sont Paris et Montpellier. Ces deux pôles sont aussi ceux où sont regroupés les plus grands nombres de laboratoires de recherche en écologie et environnement.

Figure I-2. Répartition des unités par site d'implantation principal.



Le niveau d'implication des unités en termes de personnels

Le niveau d'implication des unités dans l'océan Indien est très variable (de 1 à 28 personnels). Sur la base des réponses fournies par les laboratoires, le total des personnels impliqués est estimé à environ 450. Le chiffre réel est certainement supérieur : sur 59 unités ayant déclaré leur implication dans l'océan Indien, 3 n'ont pas

indiqué les effectifs impliqués et certaines unités n'ont pas répondu à l'enquête.

La figure I-3 illustre l'implication des unités en termes de personnels déclarés comme ayant une activité de recherche dans la zone sud-ouest de l'océan Indien.

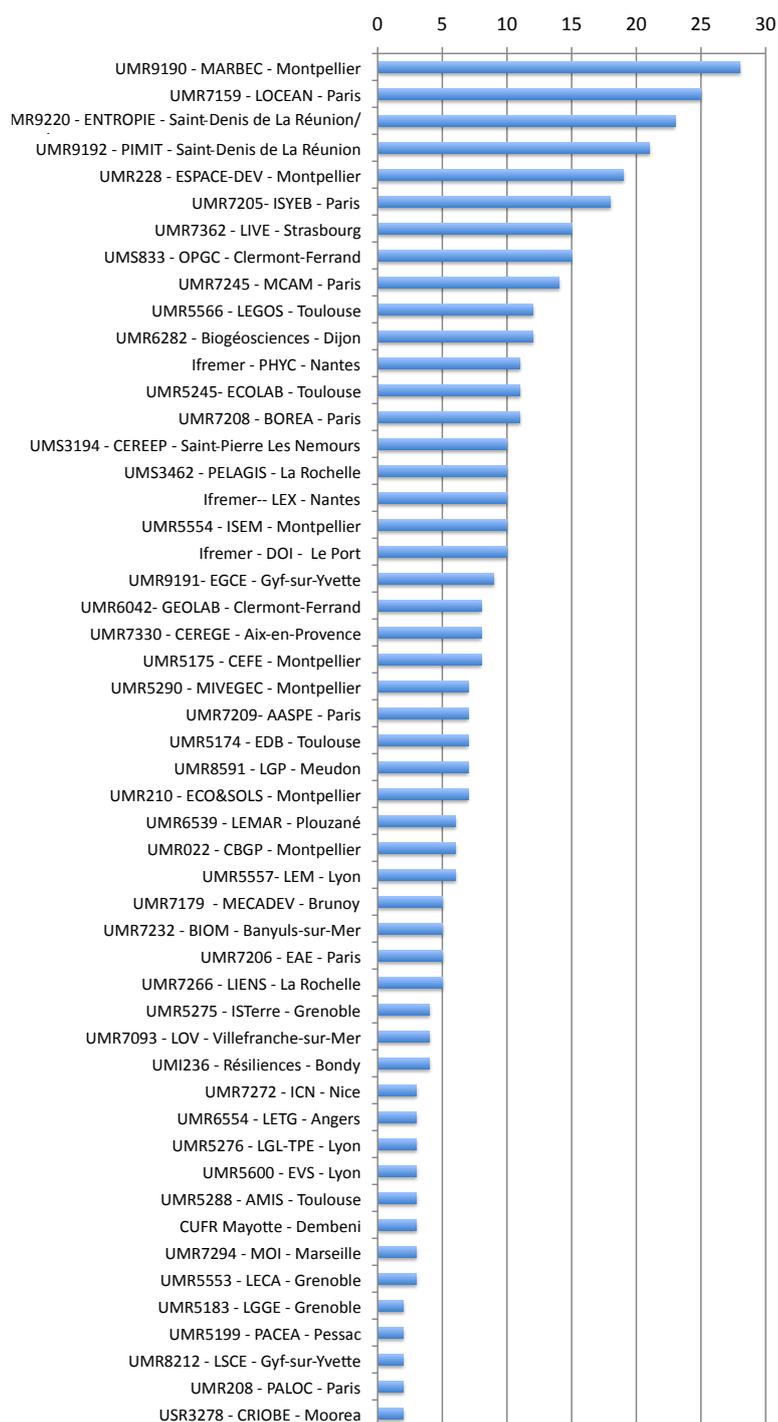


Figure I-3. Effectif des personnels des unités travaillant sur l'océan Indien.

Certaines unités présentent un fort niveau d'implication. 5 d'entre elles rassemblent un quart des effectifs travaillant sur l'océan Indien (tableau I-2).

Ces unités se caractérisent notamment par la diversité des tutelles auxquelles elles sont rattachées.

4 de ces 5 unités partagent les thématiques de l'écologie des communautés et des effets des changements climatiques. La biogéographie est également au cœur des travaux de 4 de ces 5 unités. Une de ces 5 unités développe des travaux complémentaires sur les thématiques de la climatologie, de la biogéochimie et de la géophysique. Il est à noter que dans 2, voire 3 de

ces unités, le droit international de la mer, l'économie des ressources marines notamment halieutiques, la gouvernance des zones côtières, de la haute mer et des fonds marins, sont pris en compte même si les effectifs des chercheurs impliqués sont relativement faibles.

Le niveau d'implication traduit par le nombre de personnels serait plus justement estimé à partir du nombre d'ETP mais celui-ci n'a pas été recueilli dans le cadre de l'enquête. Il paraît évident que les personnels des unités implantées dans l'océan Indien doivent avoir un pourcentage de leurs activités sur l'océan Indien supérieur à celui des personnels basés en métropole.

N° UMR	Tutelles	Effectif océan Indien		
		n	∑∑	∑∑ (%)
UMR9190 MARBEC	IRD - Ifremer - CNRS - UM	28	28	6
UMR7159 LOCEAN	UPMC - CNRS - IRD - MNHN	25	53	12
UMR9220 ENTROPIE	UR - IRD - CNRS	23	76	17
UMR9192 PIMIT	UR - CNRS - INSERM - IRD	21	97	22
UMR186 ESPACE DEV	IRD - UM - UR - UAG	19	116	27

Abréviations : UM = Université de Montpellier ; UPMC = Université Pierre et Marie Curie ; UR = Université de La Réunion ; UAG = Université des Antilles et Université de Guyane.

Tableau I-2. Les 5 unités de recherche qui mobilisent le plus de personnels travaillant sur l'océan Indien.

I.3

Les domaines de recherche

Les domaines géographiques

Parmi les grands domaines géographiques considérés par les unités de recherche (tableau I-3), les systèmes marins et les systèmes continentaux sont étudiés dans des proportions comparables. Parmi les unités de recherche ayant répondu au questionnaire seules trois d'entre elles ont déclaré travailler sur l'atmosphère.

Au sein des systèmes marins et terrestres, ce sont les systèmes insulaires qui sont le plus largement privilégiés (respectivement 78,1 et 92,3 %).

Les environnements côtiers sont de loin plus fréquemment étudiés (97 % des 32 unités de recherche travaillant dans le domaine marin) que

les systèmes hauturiers (50 %). Les systèmes benthiques (43,8 %) et pélagiques (40,8 %) sont considérés de façon équivalente, alors que les systèmes profonds ne le sont que par 28 des unités travaillant dans le domaine marin.

Parmi les écosystèmes terrestres, ce sont les forêts qui sont les plus étudiées (43,6 % des unités de recherche), suivies des savanes (31 %), des steppes (15,4 %) et des montagnes (2,6 %). Parmi les écosystèmes aquatiques continentaux, les unités de recherche s'intéressent davantage aux rivières (43,6 %) plutôt qu'aux lacs (25,6 %). Enfin les socio-systèmes ne sont abordés que par une seule des unités ayant répondu à l'enquête.

Tableau I-3 : Analyse des réponses des 59 unités de recherche vis-à-vis des domaines étudiés. Les chiffres associés à chaque biotope correspondent au nombre total d'unités de recherche ayant déclaré étudier le biotope en question. Les pourcentages sont calculés soit par rapport au nombre total de réponses (gras) soit par rapport au nombre de réponses du domaine concerné.

La typologie des réponses relatives aux domaines d'étude est certainement en relation avec leur diversité, leur accessibilité et leur importance relative dans la zone géographique considérée.

Cependant, on peut constater qu'au moins un système est peu ou pas étudié : les socio-systèmes. Même si le questionnaire n'a pas atteint tous les chercheurs travaillant sur ce domaine, ce résultat indique que peu de travaux sont menés en collaboration entre les spécialistes des socio-systèmes et les autres disciplines représentées par les 59 unités.

En regard des réponses relatives aux échelles d'études, ce sont les échelles locales (< 100 km) et régionales (100 - 1000 km) qui sont les plus abordées (respectivement 75 et 66 % des 59 unités de recherche). L'échelle globale (> 1000 km) ne fait l'objet d'études que dans 29 des 59 unités (49 %).

Domaines	n	%
Marin	33	55,9
Îles	26	78,8
Autres domaines marins	20	60,5
Côtier	30	90,9
Hauturier	16	48,5
Benthos	15	45,5
Pélagos	13	39,4
Profond	9	27,3
Continents et îles	40	67,8
Îles	36	90,0
Continents	19	47,5
Forêt	18	45,0
Savane	12	30,0
Steppe	7	17,5
Montagne	1	2,5
Rivières	18	45,0
Lacs	10	25,0
Villes, villages, cultures	1	2,5
Atmosphère	3	5,1

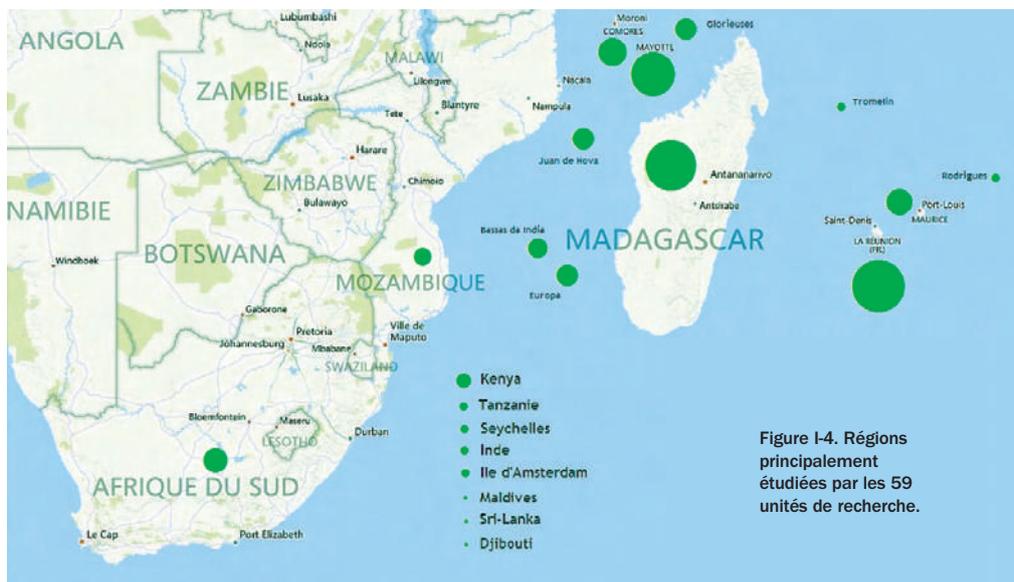
Les régions d'étude

Les pays continentaux de la région où les unités de recherche développent le plus de travaux de recherche sont l'Afrique du Sud (25 % des 59 unités de recherche), le Kenya et le Mozambique (14 %) et la Tanzanie (8,5 %) (Tableau I-4 et Figure I-4).

Les systèmes insulaires les plus étudiés (Tableau I-4 et Figure I-4) sont Madagascar (47,5 % des unités), La Réunion (46 %) et Mayotte (39 %). Les autres îles étudiées sont les Comores (22 %), Maurice (22 %) et les Îles Éparses du Canal du Mozambique pour 17 à 20 % des réponses.

Tableau I-4 : Régions étudiées et nombre d'unités concernées.

Régions terrestres	n	%
Madagascar	28	47,5
La Réunion	27	45,8
Mayotte	23	39,0
Afrique du Sud	15	25,4
Comores	13	22,0
Maurice	13	22,0
Les Glorieuses	12	20,3
Europa	12	20,3
Juan de Nova	12	20,3
Bassas da India	10	16,9
Kenya	8	13,6
Mozambique	8	13,6
Tanzanie	5	8,5
Seychelles, Tromelin, Amsterdam, Inde, Rodrigues	4-2	6,8 – 3,4
Djibouti, Sri Lanka, Andaman, Maldives, Saya de Malha	1	1,7



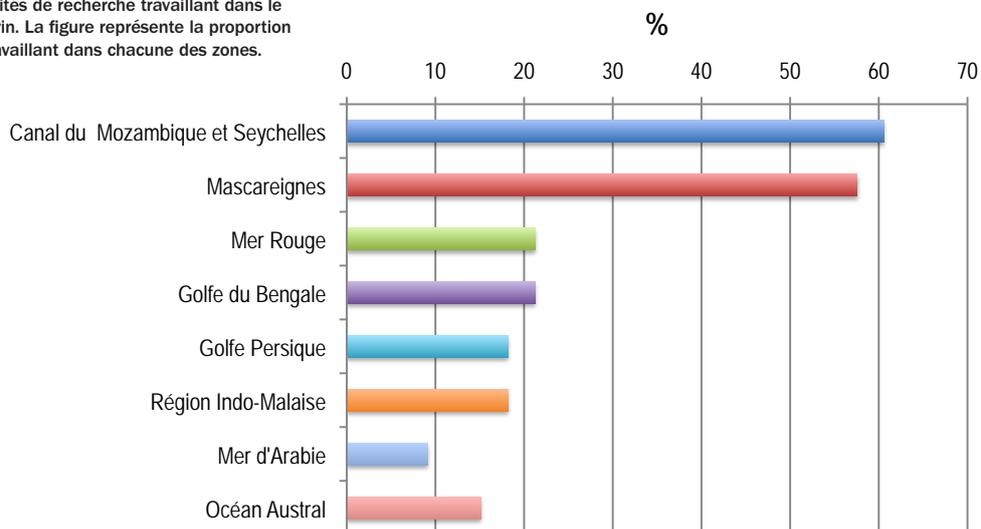
Les régions marines les plus étudiées par les unités ayant déclaré travailler dans le domaine marin (Figure I-5) sont celles du Canal du Mozambique et du plateau des Mascareignes (respectivement 60,6 et 57,6 % des unités). Les régions périphériques (Mer Rouge, Golfe du Bengale, Golfe Persique et région indo-malaise, Mer d'Arabie et Mer d'Oman) ne sont mentionnées que dans un plus petit nombre de réponses. Il faut également noter qu'au titre de la catégorie « autres régions marines étudiées » dans l'océan Indien, c'est la zone de l'Océan Austral qui est la plus citée (15% des réponses).

Globalement, on peut constater que la plupart des systèmes insulaires et les régions marines attenantes font l'objet de travaux menés

par un grand nombre d'unités de recherche. Ce sont d'une part, Madagascar où de nombreux établissements français ont développé des collaborations de longue date et, d'autre part, le plateau des Mascareignes et le canal du Mozambique avec les îles françaises de La Réunion et de Mayotte où les organismes de recherche et les Universités françaises sont implantés. Un moins grand nombre d'unités travaillent dans les pays riverains de la zone sud-ouest de l'océan Indien et les régions marines associées.

Enfin, il faut aussi noter que 18 des 59 unités travaillent à la fois sur les systèmes marins et terrestres.

Figure I-5. Régions marines principalement étudiées par les 33 unités de recherche travaillant dans le domaine marin. La figure représente la proportion des unités travaillant dans chacune des zones.



Les différents types de soutien

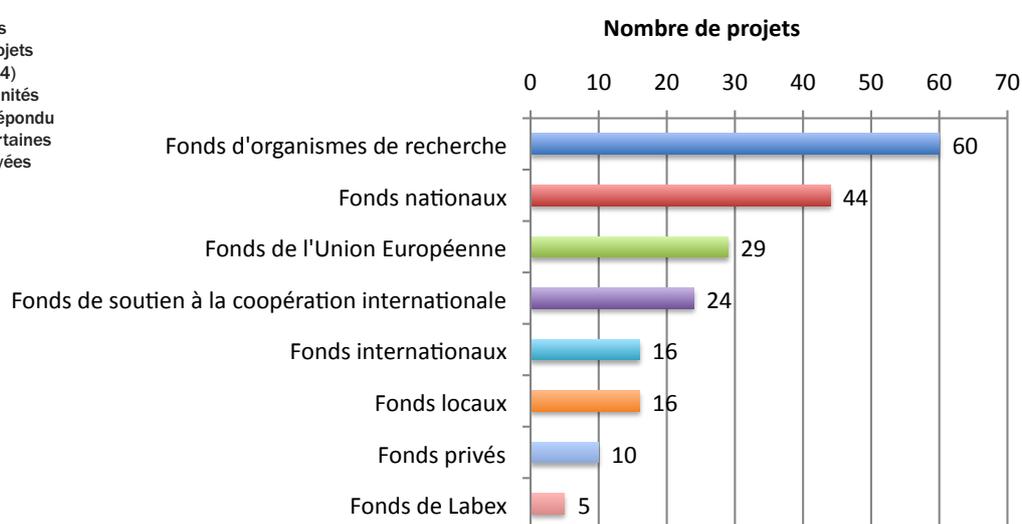
La nature des principaux soutiens est illustrée à la figure I-6. Ces indications ont été obtenues en analysant l'origine des fonds ayant soutenu les projets réalisés par les unités de recherche ayant rempli la rubrique correspondante du questionnaire. Les origines des financements de 164 projets réalisés par les unités de recherche ont pu être identifiées et affectées à une ou plusieurs catégories.

Les projets de recherche ont été majoritairement soutenus par les fonds des organismes

de recherche, les programmes multiorganismes pilotés par le CNRS (e.g. EC2CO) et les fonds nationaux comme les programmes ANR ou encore pro parte les LabEx (66 % des projets). Les fonds européens et internationaux sont intervenus en support de 42 % des projets et les fonds locaux *sensu lato* (collectivités territoriales, syndicats & associations, privés...) pour 16 % des projets.

Ces chiffres montrent une très bonne compétitivité des acteurs de la recherche tant au plan national qu'international.

Figure I-6. Origine des financements des projets de recherche (n = 164) mentionnés par les unités de recherche ayant répondu au questionnaire. Certaines des rubriques employées sont fongibles.



Les thématiques de recherche

Une très grande diversité de thématiques est abordée par les unités de recherche ayant répondu au questionnaire. Parmi les thématiques qui y étaient proposées, seul le « risque sismique » n'a pas été renseigné, alors que cette thématique est abordée notamment par certains laboratoires du CNRS-INSU. Cela montre que le questionnaire n'a pas été renseigné par la totalité des unités de recherche travaillant sur l'océan Indien, et que de ce fait, la diversité des thématiques de recherche est certainement plus large que celle identifiée à travers le questionnaire.

Le tableau I-5 résume les thématiques mentionnées par les unités de recherche ayant répondu au questionnaire.

44 % des unités de recherche travaillent sur les

changements climatiques et leurs effets, 41 % ont comme thématique l'écologie des communautés, 34 % l'écologie des interactions entre organismes et 32 % la biogéographie des espèces. L'on retrouve à travers cet ensemble de thématiques les axes de recherche qui au plan national et international sont au cœur des problématiques de la connaissance des systèmes écologiques, de leurs liens avec l'environnement et de leur devenir.

L'étude des changements climatiques concerne, de façon quasi équivalente en nombre d'unités, celle des climats passés et actuels, des changements de température, d'acidification et du niveau des mers ainsi que celle des impacts

sur la biodiversité, les écosystèmes (mangrove, estuaire, récif corallien,...), les espèces d'intérêt agricole et sanitaire. Une seule unité a identifié la thématique de la vulnérabilité des populations humaines et leurs stratégies d'adaptation aux changements climatiques.

L'écologie des communautés est une thématique davantage développée dans le milieu marin (60 % des unités affichant cette thématique). Elle s'y applique principalement aux communautés de mammifères, d'oiseaux, de poissons, de coraux, d'invertébrés. Dans une moindre mesure, les communautés de microorganismes concernées sont le phytoplancton et le zooplancton. L'écologie des communautés terrestres s'intéresse principalement aux insectes et aux animaux vecteurs de parasites et de bactéries ainsi qu'aux communautés d'organismes forestiers. Les travaux associés à la thématique de la biogéographie s'adressent aux mêmes catégories d'organismes et illustrent la dimension régionale des recherches de la plupart des équipes tandis que l'écologie des interactions se concentre principalement sur les relations entre pathogènes et leurs hôtes et les relations trophiques.

À l'opposé, certaines thématiques sont faiblement représentées. C'est notamment le cas pour celles s'intéressant aux relations entre les sociétés humaines et leur environnement. Là encore, il est possible que le questionnaire n'ait pas été reçu et/ou renseigné par d'autres équipes travaillant sur la zone sud-ouest de l'océan Indien que celles qui y ont répondu.

Il faut cependant noter qu'un nombre significatif d'unités s'intéressent aux questions de santé publique (22 %) ou encore aux questions relatives aux impacts de l'urbanisation (12 %) qui de fait intègrent certaines relations entre l'homme et son environnement.

Ces thématiques sont abordées en utilisant différents types d'approche (Tableau I-6). 75 % des unités de recherche utilisent l'observation comme approche principale de leurs objets d'étude. Les autres approches (exploration, expérimentation, modélisation) sont utilisées dans une moins grande proportion et de façon équivalente (42 à 49 % des unités). Seulement 19 % des unités utilisent les quatre approches dans leurs travaux.

Tableau I-5. Thématiques de recherche abordées par les 59 laboratoires.

Thématique	n	%
Changements climatiques	26	44
Ecologie des communautés	24	41
Ecologie des Interactions entre organismes	20	34
Biogéographie	19	32
Biogéochimie	16	27
Biologie de la conservation	14	24
Ecologie fonctionnelle	14	24
Ecophysiologie	13	22
Santé publique	13	22
Systématique (taxinomie)	13	22
Ecologie évolutive	12	20
Contaminants	11	19
Pêche	8	14
Ecotoxicologie	7	12
Urbanisation	7	12
Aquaculture	6	10
Chimie du vivant	6	10
Océanographie physique	6	10
Climatologie	5	8
Géologie	5	8
Sédimentologie	5	8
Paléontologie	4	7
Sociologie et environnement	4	7
Géophysique	3	5
Ecologie comportementale	2	3
Anthropologie	1	2
Risques sismiques	0	0

Tableau I-6. Nombre et proportion des approches utilisées par les unités de recherche.

Approche	n	%
Exploration	29	49
Observation	44	75
Expérimentation	28	47
Modélisation	25	42

Focus sur les taxa étudiés

Une très grande diversité de taxa est étudiée par les laboratoires ayant répondu au questionnaire (tableau I-7). Les microorganismes *sensu lato* sont pris en compte dans les recherches de 29 % des unités de recherche, tout autant que les poissons. Les animaux apparaissent largement plus étudiés que les végétaux. Arthropodes, mammifères et oiseaux font partie des animaux terrestres les plus étudiés, alors qu'en plus des poissons, les cnidaires (coraux) et les mollusques sont les principaux animaux aquatiques sur lesquels les unités de recherche se focalisent.

Pour la plupart de ces taxa, le niveau d'organisation le plus souvent considéré est l'espèce ou la communauté. Le niveau de l'organisme est moins fréquemment utilisé.

Tableau I-7. Nombre et proportion des unités de recherche travaillant sur les différents taxa.

Taxon	n	%
Micro-organismes	17	29
Poissons	16	27
Arthropodes	14	24
Mammifères	14	24
Oiseaux	13	22
Cnidaires	9	15
Mollusques	9	15
Echinodermes	6	10
Reptiles	5	8
Spongiaires	4	7
Plantes terrestres	4	7
Macroalgues	3	5
Crustacés	2	3
Annélides	2	3
Homme	2	3
Arbres	2	3

I.4**Les projets des unités**

Un très grand nombre (≈ 150) et une très grande diversité de projets en cours ou à venir ont été reportés par les unités de recherche ayant répondu à l'enquête.

A partir des projets dont le descriptif le permettait, une base de données a été constituée en considérant les thématiques, les types d'environnement, les sites de recherche et les objets d'étude associés aux projets des unités (http://www.cnrs.fr/inee/communication/prospective_ocean_indien.html).

Au-delà de la diversité des recherches qu'elles

permettent de décrire, ces données constituent surtout un support pour les équipes souhaitant engager des collaborations pour construire de futurs projets. Ce support peut aussi aider à trouver les partenaires pour construire des projets interdisciplinaires qui à ce jour sont encore peu nombreux.

Ces données constituent un complément aux chapitres suivants qui présentent les éléments de prospective selon la séquence enjeux-problématique-actions. Elles nous ont notamment permis de les croiser avec les besoins des autres acteurs des territoires (cf. section IV).







II

LES PRIORITÉS DES ACTEURS DES TERRITOIRES EN TERMES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE



II.1

Introduction

Simultanément au questionnaire proposé aux laboratoires de recherche, un autre questionnaire a été élaboré pour être diffusé aux acteurs des territoires français de l'océan Indien (La Réunion, Mayotte, les Îles Éparses).

L'objectif était de connaître la vision des acteurs non scientifiques sur les enjeux et les problématiques qu'ils considéraient comme prioritaires en termes de développement durable de leurs territoires. Le principe retenu a été celui de construire un questionnaire (http://www.cnrs.fr/inee/communication/prospective_ocean_indien.html) proposant à ces destinataires d'identifier les séquences « Enjeux – Problématiques - Actions » de leur point de vue, compte tenu de leur localisation géographique et de la spécificité de leurs missions. Ces dernières ont été caractérisées par plusieurs questions fermées, alors que les premières pouvaient être renseignées de façon ouverte.

Un groupe de travail spécifique a donc été mis en place, composé de représentants du CNRS-INEE

et d'un acteur institutionnel de chaque territoire :

- le Président de l'Université de La Réunion pour La Réunion,
- la Directrice des services du Centre Universitaire de Formation et de Recherche de Mayotte pour Mayotte,
- le Directeur de la conservation du Patrimoine Naturel des Terres australes et antarctiques françaises pour les Îles Éparses.

Après validation du questionnaire ces acteurs territoriaux ont convenu de servir de relais pour le transmettre au plus grand nombre des acteurs de leur territoire respectif, ce qui a été fait pour le territoire de Mayotte et des Îles Éparses, mais non transmis pour La Réunion.

De ce fait, sans pouvoir généraliser à l'ensemble des territoires français de la zone, nous pouvons cependant identifier les enjeux, problématiques et actions qui ont été reportés pour deux territoires très contrastés en termes de peuplement humain.

II.2

Mayotte

11 entités administratives ont répondu au questionnaire. Elles sont présentées dans le tableau II-1.

L'exploitation des réponses aux questions fermées montre que les domaines thématiques les plus abordés par les services ayant répondu à l'enquête sont le développement économique et l'environnement (6/11). Viennent ensuite les thématiques de la gestion de l'eau (5/11), de la santé publique, de la pêche, du tourisme (4/11), puis celles de l'agriculture, de l'aménagement du territoire et de la formation (3/11).

Les zones géographiques d'intérêt sont bien entendu le territoire de Mayotte (10/11), mais aussi assez largement celle du Canal du Mozam-

bique (7/11) et plus ponctuellement celle de La Réunion (1/11).

Les systèmes considérés sont prioritairement : les systèmes ruraux, terrestres, littoraux et côtiers (9/11), les systèmes urbains (7/11). Les moins considérés sont : la qualité de l'air (1/11), les systèmes marins (5/11) et les systèmes aquatiques continentaux (4/11).

Le positionnement des réponses relatives aux enjeux et problématiques dans les trois domaines du développement durable est illustré à la figure II-1. A noter que seules 9 des 11 entités ayant répondu ont identifié les enjeux prioritaires et les problématiques qui leur sont associés.



Tableau II-1. Entités administratives du territoire de Mayotte ayant répondu au questionnaire.

Entités administratives	Mission(s) de la structure	Domaine(s)
DEAL de Mayotte	Service de l'État en charge des questions relatives à l'aménagement du territoire, au logement et à l'habitat, à l'environnement, l'énergie, la prévention des risques naturels, les infrastructures et les constructions publiques	Environnement Aménagement du territoire
Agence de Santé Océan Indien - Délégation de l'île de Mayotte	L'Agence de Santé Océan Indien (ARS OI) définit et met en œuvre la politique de santé à La Réunion et à Mayotte. L'ARS OI agit sur un champ d'intervention large : - La prévention, la promotion de la santé, la veille et la sécurité sanitaire, la santé en lien avec l'environnement et les milieux de vie, - l'organisation de l'offre de soins et l'accompagnement médico-social, - l'observation, l'étude de l'état de santé de la population et la définition de la stratégie de santé en concertation avec les usagers du système de santé et les partenaires de l'agence, - l'anticipation des risques pour la santé et la gestion des événements qu'ils peuvent provoquer, - la gestion du risque assurantiel dans les domaines ambulatoire et hospitalier.	Santé
Service de lutte anti-vectorielle, ARS-OI, délégation de Mayotte	Prévention et lutte contre les moustiques et autres arthropodes vecteurs de maladies	Santé
Délégation de l'île de Mayotte ARS OI	Évaluation et la gestion des risques sanitaires présents dans les milieux de vie.	Santé
Direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt de Mayotte	Mise en œuvre locale des politiques du ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et la forêt.	Alimentation Agriculture - forêt
ADEME	Accompagner les acteurs locaux dans le développement de la gestion de l'énergie et des déchets principalement.	Environnement Énergie
Député européen	Représentant élu de la circonscription de l'Outremer français au Parlement européen, siégeant au sein du Groupe de la Gauche Unitaire Européenne, mon mandat est de défendre les intérêts des Ultramarins, des Français et des Européens dans le travail législatif de cette institution.	Politiques
DIECCTE	Service déconcentré de l'État en lien avec les entreprises ; missions de contrôle d'application des codes du commerce, de la consommation, du travail, du tourisme... ; missions d'accompagnement du développement économique, d'aide à la création d'entreprises, missions d'insertion et d'accompagnement dans l'emploi des publics ciblés par les politiques de l'emploi ; missions de développement du dialogue social...	Économie
Chambre de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Aquaculture de Mayotte	Établissement consulaire à double mission : - mission de consultation (organe consultatif auprès de l'État et des collectivités territoriales, représentant des intérêts des professionnels agricoles). - mission d'intervention (orientations des actions de développement, accompagnement de la profession (conseil, formation, expertises), partenaires du développement des filières).	Agriculture - pêche Aquaculture
Unité territoriale Mayotte	Accompagnement économique de la filière maritime sécurité portuaire sécurité des navires ; entretien des établissements de signalisation maritime responsable de l'organisation du sauvetage en mer ; gestion des navires et des marins.	Affaires maritimes
Parcs naturels marins de Mayotte et des Glorieuses	Contribuer à la connaissance du patrimoine marin ainsi qu'à la protection et au développement durable du milieu marin (article L334-3 du code de l'environnement).	Aires Marines Protégées



Figure II-1. Enjeux et problématiques exprimés par les institutionnels de Mayotte et de au sein des 3 de développement

Un premier constat est que les enjeux et problématiques du territoire de Mayotte concernent toutes les dimensions du développement durable. Ils s'inscrivent nécessairement dans les priorités d'un territoire aux besoins multiples, aux ressources limitées, avec des conflits d'usage actuels et à venir vis-à-vis de ces ressources et des pressions locales multiples. Au plan économique, le principe d'un développement équilibré est mis en avant à travers des questions propres au positionnement du territoire dans son statut de 101^e département français et des droits et devoirs nationaux et européens qui l'accompagnent. C'est aussi la reconnaissance du patrimoine mahorais et la volonté de sa protection, le développement de l'agriculture locale, la gestion de l'énergie et des déchets. Au plan social, les priorités sont celles visant à améliorer les conditions de vie des Mahorais

(habitat, santé, assainissement, formation...). Là encore les problématiques à résoudre sont nombreuses pour permettre un développement social comparable aux autres territoires ultramarins (<http://www.senat.fr/rap/r13-710/r13-7101.html>). Au plan environnemental, à côté de la protection des forêts, ce sont essentiellement les enjeux relatifs au milieu marin et plus précisément au lagon de Mayotte qui ressortent. Les problématiques associées concernent les besoins de connaissance, de protection et de modes de développement durable des activités d'utilisation des ressources du lagon. Il apparaît clairement que des interactions fortes existent entre ces objectifs de protection du patrimoine environnemental et les actions attendues en termes social (traitement des eaux usées) et économique (gestion des déchets).

II.3

Les Îles Éparses

La préfecture des Terres australes et antarctiques françaises (TAAF) est le seul gestionnaire des Îles Éparses. Une des particularités de ces îles est qu'elles n'abritent qu'une population humaine limitée à un contingent militaire de 15 personnels sur les îles d'Europa, Juan de Nova et des Glorieuses et de 3 personnels des TAAF sur l'île de Tromelin. Le tableau II-2 en résume les multiples missions et les domaines de compétence.

Le positionnement des réponses relatives aux enjeux et problématiques dans les trois domaines du développement durable est illustré à la figure II-2.

La spécificité de ces territoires peu ou pas anthropisés au regard des enjeux et problématiques de développement durable est évidente puisque l'essentiel d'entre eux concernent les aspects environnementaux. Ces territoires

révèlent cependant des frontières ouvertes sur les aspects économiques en identifiant un enjeu fort en termes de gestion des ressources dont sont dotés ces territoires et faisant l'objet de convoitises avérées et d'activités illégales en termes de tourisme et de pêche, ou encore de projets d'exploitation de leurs ressources énergétiques et minières. Ces activités sont connues pour avoir des conséquences négatives vis-à-vis notamment de l'importante diversité des organismes vivants abrités par ces systèmes insulaires.

La « coopération régionale » apparaît également comme un enjeu majeur pour pérenniser la présence française dans ces territoires. Le positionnement géographique de ces îles est en effet à l'origine de revendications territoriales par les pays riverains.

Tableau II-2. Entité administrative des Îles Éparses ayant répondu au questionnaire.

Entités administratives	Mission(s) de la structure	Domaine(s)
Terres australes et antarctiques françaises (TAAF)	Protéger des écosystèmes dans un état de conservation exceptionnel - Soutenir la recherche scientifique et la mise en place de réseaux d'observation dans des écosystèmes de référence - Ravitailler les districts et entretenir les bases - Développer une pêche durable - Valoriser le patrimoine historique - Promouvoir les territoires et les activités des TAAF	Coopération régionale - Environnement - Formation - Patrimoine - Pêche - Tourisme - logistique

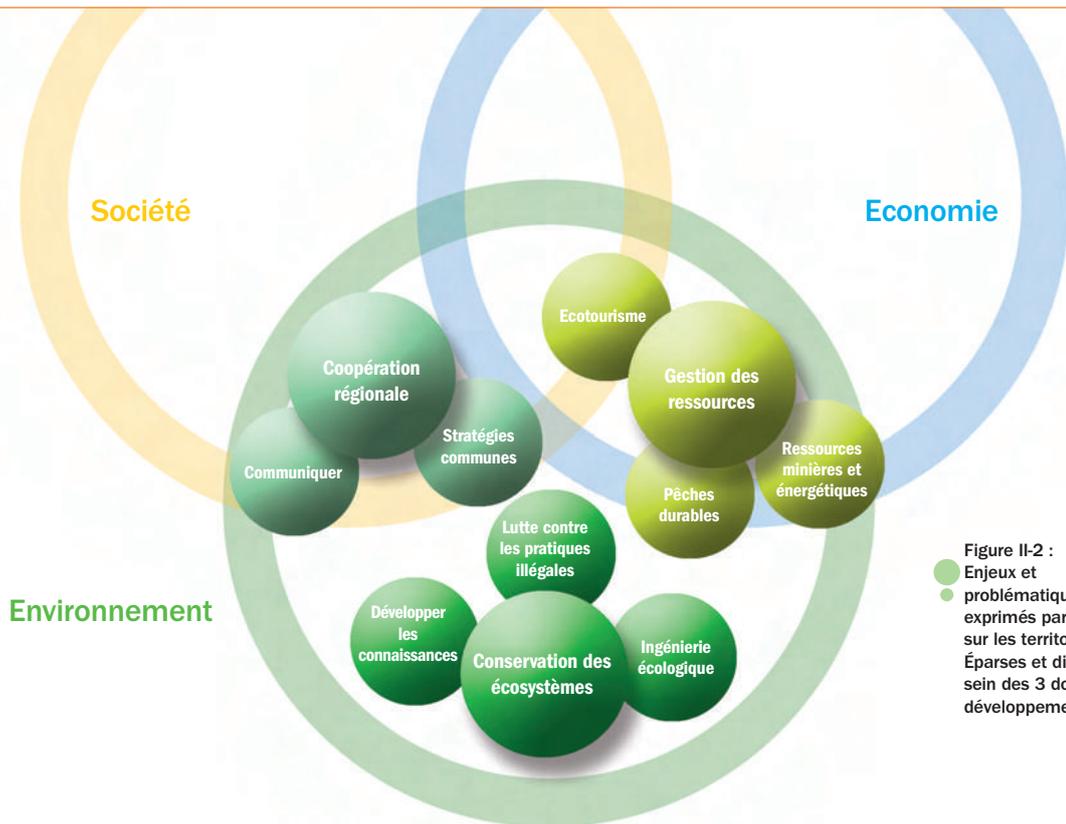
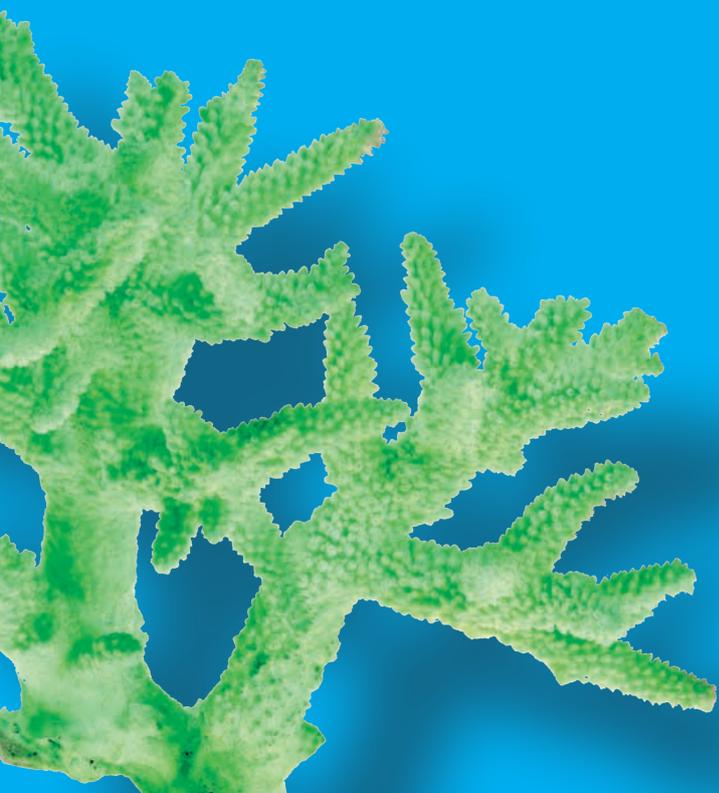


Figure II-2 : Enjeux et problématiques associées exprimés par les TAAF sur les territoires des Îles Éparses et distribués au sein des 3 domaines du développement durable.





LES ENJEUX/DÉFIS ET PROBLÉMATIQUES/QUESTIONS IDENTIFIÉS PAR LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE



Introduction

L'état des lieux des recherches de la communauté française sur l'écologie et l'environnement dans la zone ouest de l'océan Indien révèle une grande richesse de compétences et de thématiques. Les recherches en cours et menées antérieurement par les communautés scientifiques de cette zone géographique ont permis de documenter et de comprendre de nombreux systèmes et processus spécifiques à la zone sud-ouest de l'océan Indien. Dans le cadre de la convention de Nairobi, pour la protection, la gestion et la mise en valeur du milieu marin et côtier de la région de l'océan indien occidental, l'UNEP a publié en 2015, un rapport⁹ détaillé sur l'état des connaissances sur la zone ouest de cette région. On s'y réfèrera en ce qui concerne la diversité des espèces marines et de leurs habitats, des principaux services écosystémiques notamment en termes de ressources alimentaires, des activités humaines et de leurs impacts.

Les enjeux et les problématiques associés à ces recherches évoluent, appelant à acquérir ou

renouveler nos connaissances en regard de thématiques scientifiques spécifiques au développement durable (cf. section III-2). Mais c'est tout autant au regard d'enjeux et de problématiques faisant appel à des compétences multiples que peuvent se décliner les attentes et les besoins des communautés scientifiques (cf. section III-3). Les systèmes insulaires de la zone ouest de l'océan Indien constituent des systèmes remarquables en tant que tels, mais aussi des supports non moins remarquables pour comprendre les interactions hommes-milieu et anticiper leurs futurs (cf. section III-4).

En appui aux activités de recherche, la communauté scientifique française dispose déjà de plateformes techniques de différentes natures et de supports logistiques uniques à l'échelle de la région. Si la mise à niveau des outils est une préoccupation légitime, leur mise en réseau apparaît incontournable notamment en support des collaborations internationales (cf. section III-5).

9. UNEP-Nairobi Convention and WIOMSA (2015). The Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean. UNEP and WIOMSA, Nairobi, Kenya, 546 pp.



Thèmes spécifiques

Risques naturels et d'origine anthropique

CONTEXTE ET ENJEUX

Comme partout ailleurs sur la planète, les changements climatiques et sociétaux dans l'océan Indien se traduisent par des modifications profondes des interactions qui ont prévalu entre l'homme et ses environnements biotiques et abiotiques. Les équilibres atteints sont le fruit d'une longue évolution et leurs ruptures peuvent avoir des conséquences multiples et pour la plupart imprédictibles sur la base des connaissances actuelles. Les aléas naturels de nature géologique ou hydrométéorologique induisent des risques de catastrophes majeures mais davantage prédictibles.

Une des spécificités géographiques des territoires de la zone ouest de l'océan Indien, formés de quelques terres entourées de vastes étendues marines, est de concentrer les populations humaines sur les zones littorales, zones d'expositions à des aléas multiples. L'existence de ces populations dépend beaucoup de ressources marines dont la diversité et l'abondance diminuent et dont l'accès est de plus en plus difficile¹⁰. Les causes principales en sont les prélèvements réalisés par les populations littorales et les rejets nuisibles des activités humaines. Ces forçages chroniques s'ajoutent aux aléas naturels qui s'appliquent aussi sur des écosystèmes terrestres et marins remarquables mais fragiles en regard de la multiplicité des pressions qu'ils peuvent subir¹¹.

PROBLÉMATIQUES/QUESTIONS

Recensement des aléas naturels et d'origine anthropique dans l'océan Indien

Les systèmes côtiers et insulaires de la zone sud-ouest de l'océan Indien sont exposés à une grande diversité d'aléas naturels et anthropiques (tableau II-1). L'inventaire de ces aléas pour chaque territoire de la région constitue un préalable à de nombreuses questions relatives à l'évaluation et à la gestion des risques.

- Quels sont les aléas récurrents et émergents, leurs occurrences et leurs congruences spatiales et temporelles ?
- Peut-on réaliser une typologie/ cartographie régionale de ces aléas ?
- Quelles sont les causes d'occurrence des aléas et de leurs dynamiques ?

Tableau III-1. Principaux aléas et risques majeurs associés pour les écosystèmes et les sociétés de l'océan Indien.

Aléas	Risques / écosystèmes	Risques / sociétés
Eruptions volcaniques	Pertes d'espèces et d'habitats	Pertes humaines, de territoire
Tempêtes et cyclones	Pertes d'habitats	Pertes humaines, économiques
Tsunami (glissement sous-marin)	Submersion littorale, perte d'habitats	Pertes humaines, économiques
Elévation du niveau de la mer	Erosion littorale, submersion	Pertes d'habitat, migrations humaines
Inondations	Erosion terrestre	Pertes humaines, économiques, de terres cultivables
Vagues de chaleur	Blanchissement des coraux...	Pertes humaines, de sécurité alimentaire, migrations humaines
Rejets de nutriments en mer	Eutrophisation, efflorescences algales toxiques	Perte de services écosystémiques
Contaminants chimiques	Intoxications aiguës et chroniques	Intoxications aiguës et chroniques
Microorganismes pathogènes	Maladies	Maladies
Espèces invasives	Perte de biodiversité et de fonctions associées	Perte de services écosystémiques

10. Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 569. Rome, FAO. 2011. 334 pp.

11. Michel D. 2012. Environmental pressures in the Indian ocean. pp : 113-129. In : Indian Ocean Rising : maritime security and policy challenges. Michel D. & Sticklor R. (eds.). Stimson, Washington

Les effets des aléas naturels multiples

Les effets combinés des aléas sur les systèmes naturels et sociaux et sur leurs interactions sont pratiquement inconnus. Lorsque les effets séparés des aléas sont connus, leur simple superposition ne permet pas d'anticiper leurs conséquences effectives. Par ailleurs la spécificité des risques pour un territoire tient notamment à la spécificité des aléas qui peuvent s'y rencontrer.

Au cours des 60 dernières années, la zone sud-ouest de l'océan Indien a été frappée par des cyclones dévastateurs, dont l'intensité a été multipliée par le réchauffement d'origine anthropique des températures des eaux de surface^{12,13}. En

Mars 2004, le cyclone Gafilo de catégorie 5, et qui a causé des destructions catastrophiques, est considéré comme étant le cyclone moderne le plus intense jamais enregistré la ZSO de l'OI (Figure III-1). En parallèle, l'exploitation agricole des forêts tropicales a engendré des déboisements extrêmes, soit près de 40 % de réduction du couvert végétal pour Madagascar entre 1950 et 2000¹⁴. Au final, l'augmentation dramatique de l'érosion des sols durant les cyclones tropicaux extrêmes induit des exports massifs des sédiments vers l'océan (en particulier pour les secteurs à forte déforestation), et qui pourraient avoir des conséquences dangereuses pour les écosystèmes benthiques.



Figure III-1 : Image prise le 8 mars 2004 du littoral de la ville Mahajanga (Madagascar) après le passage du cyclone Gafilo (Crédit photo : Sascha Wittkowski). Ce cyclone a engendré des vents moyens de 231 km/h avec des rafales à 326 km/h. Au moins 363 personnes sont tuées et près de 200 000 personnes se sont retrouvées sans abri.

12. Webster, P.J., Holland, G.J., Curry, J.A. & Chang H., R. (2005) Changes in Tropical Number, Duration and Intensity in a warming Environment. *Science* 309, 1844-1846.

13. Elsner, J.B., Kossin, J.P and Jagger, T.H. (2008) The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature* 455, 92-95.

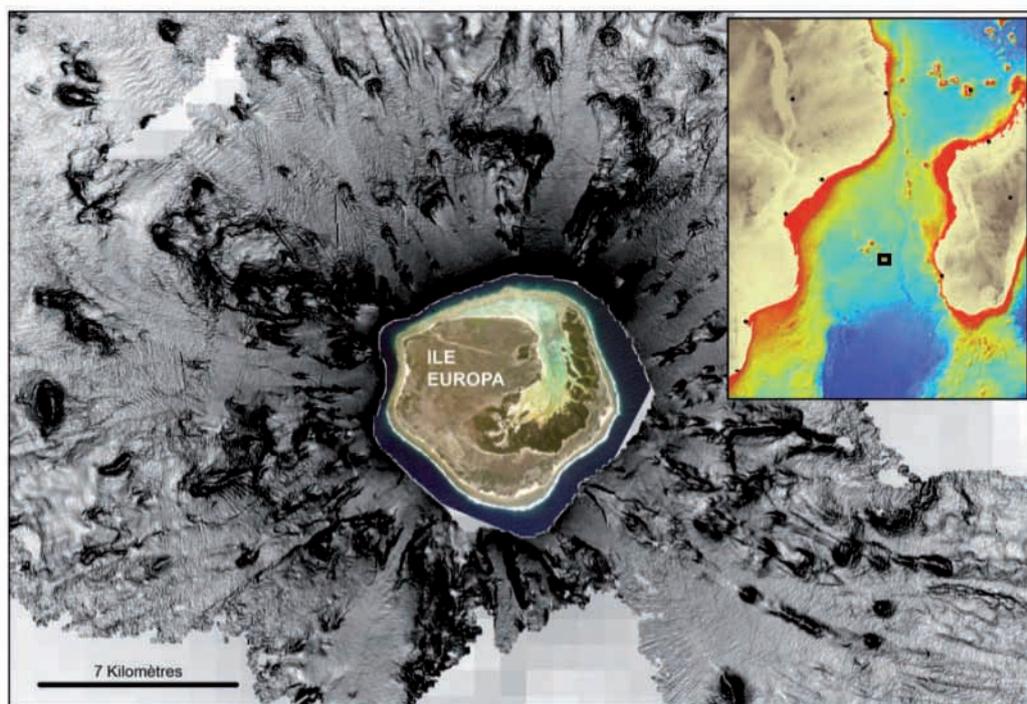
14. Harper, G.J., Steininger, M.K., Tucker, C.J., Juhn, D. & Hawkins, F. (2007) Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Environmental Conservation* 34 (4), 325-333.

Les glissements (avalanches) sous-marins correspondent à des phénomènes subaquatiques récurrents dans tous les océans, et dont les conséquences tels que les tsunamis qui peuvent engendrer des destructions importantes des zones littorales, ou encore endommager certaines installations (plates-formes pétrolières, câbles sous-marins). Les causes de ces instabilités sous-marines peuvent être très diverses, initiées généralement par un phénomène ponctuel comme une secousse sismique ou encore un dégazage de bulles de méthane dans les sédiments¹⁵. Malgré des progrès récents accomplis dans la compréhension de la nature et des processus des glissements de terrain sous-marins, de grandes incertitudes demeurent concernant les risques encourus de la zone sud-ouest de l'océan Indien, dont les marges continentales et les monts sous-marins restent à ce jour pratiquement inexplorés. De récentes explorations sous-marines autour des îles du Canal du Mozambique ont permis de mettre en évidence la

présence de grandes cicatrices d'érosion sur les pentes¹⁶, prouvant que des grands glissements se sont déjà produits par le passé (Figure III-2).

- Quels sont les territoires de l'océan Indien les plus menacés du point de vue des aléas climatiques, géologiques et écologiques, des systèmes naturels, des ressources, des populations qu'ils abritent ?
- Quels sont les effets attendus des aléas en fonction de leur cooccurrence ?

Figure III-2 : Cartographie des pentes de l'île Europa montrant la présence de grandes structures d'incisions, reflet de déstabilisations récurrentes sur les flanc de l'édifice. D'après S. Jorry (2014).



15. Mason, D., Habitz, C., Wynn, R., Pederson, G. & Lovholt, F. (2006) Submarine landslides: processes, triggers and hazard protection. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364, 2009–2039.

16. Jorry, S. (2014) PTOLEEMEE cruise, RV L'Atalante, <http://dx.doi.org/10.17600/14000900>.

Microorganismes, réservoirs animaux et maladies infectieuses

Comme évoqué précédemment, la région du sud-ouest océan Indien est singulière par l'existence d'une multi-insularité fortement contrastée, à la fois au niveau géographique et géologique mais aussi au niveau de la faune sauvage et de la flore insulaire. Comparée à certains écosystèmes continentaux, les îles sont généralement caractérisées par une richesse spécifique relativement limitée mais avec un niveau d'endémisme extrêmement marqué pour certains groupes de végétaux, ou encore d'animaux, notamment les chauves-souris et les petits mammifères terrestres. Cette biodiversité ne devrait pas être limitée aux seuls règnes animal et végétal : le monde microbien, qui leur est inféodé, devrait l'être également. Ainsi, les spécificités écologiques des îles du sud-ouest océan Indien associées à leur isolement géographique font de cette région un remarquable champ d'investigation sur (1) la dynamique évolutive des processus infectieux et des flux de pathogènes qui peuvent survenir au sein des communautés d'espèces, et (2) des facteurs biotiques et abiotiques qui entrent en jeu dans les interactions hôte-pathogène, et des mécanismes macro-évolutifs mobilisés.

Plusieurs travaux ont été menés ces 10 dernières pour inventorier la diversité des microorganismes dans l'environnement et associés aux macroorganismes de la région du sud-ouest océan Indien. Les données les plus saisissantes concernent les microorganismes pathogènes pour l'homme et les animaux. En effet, la région sud-ouest océan Indien a été victime de nombreuses émergences épidémiques dont certaines ont eu des impacts considérables sur la santé humaine, la santé vétérinaire, l'agriculture et l'économie. C'est notamment le cas de l'épidémie du virus chikungunya qui a sévit dans la région en 2005, avec des îles comme La Réunion qui a connu des taux d'attaque avoisinant 40 % (300 000 personnes) de la population, perturbant l'ensemble du système de santé. Une autre virose, la dengue causée par le virus du même nom, est endémique dans la région et connaît des émergences récurrentes. Dans le domaine vétérinaire, plusieurs émergences de bactérioses et viroses ont eu lieu dans la région, et l'émergence récente de la fièvre aphteuse a montré une fois de plus la

fragilité de ces systèmes insulaires. La propagation rapide de la maladie est favorisée par les échanges commerciaux, les mouvements de populations entre îles avoisinantes, ainsi que par les contacts plus fréquents entre les populations, les vecteurs et la faune sauvage réservoirs. Cette rupture de filtre de rencontre est d'autant plus préoccupante que les investigations dans la faune sauvage, menées à partir des années 2010, en particulier par le CRVOI et poursuivi à ce jour par le laboratoire PIMIT, ont mis en évidence la présence de nombreux agents infectieux dont certains sont apparentés à des pathogènes à fort potentiel d'émergence (*Paramyxovirus*, *Leptospires*) et capables de franchir les barrières d'espèces. Ces données descriptives permettent d'envisager la mise en place de système d'alerte ou le développement d'outils diagnostics et thérapeutiques.

L'exposition aux aléas

Deux facteurs au moins aggravent le niveau d'exposition des populations humaines aux aléas : la concentration des populations humaines en zone littorale et les possibilités de déplacement limitées dans la plupart des territoires insulaires.

- **Quels sont les niveaux d'exposition des populations humaines et des systèmes naturels à ces aléas ?**
- **Quels territoires subissent ou subiront des expositions simultanées de leurs populations et de leurs systèmes naturels aux aléas ?**
- **Quels liens entre changements climatiques et risques sanitaires ? Quels outils de mise en œuvre du concept d'exposome ?**
- **Quels sont les trajectoires de vulnérabilité de territoires et des populations aux aléas climatiques ?**
- **Quel niveau et articulation des compétences (entre collectivités et Etat) pour appréhender les aléas climatiques notamment en zone littorale et/ou insulaire ?**

Sensibilité des systèmes naturels, sociaux et des socio-écosystèmes

La plupart des systèmes vivants présentent des différences de sensibilité et donc de réponses à une même exposition à un même facteur de stress. Cette variabilité de la sensibilité du vivant est à l'origine de ses capacités adaptatives. De multiples facteurs peuvent déterminer la sensibilité des systèmes à l'exposition à des aléas. Dans les systèmes naturels, la biodiversité apparaît comme une « assurance » vis-à-vis des changements environnementaux. Au sein des socio-écosystèmes littoraux, le maintien de l'intégrité d'écosystèmes naturels (e.g. coraux, mangroves) protègent les populations des événements climatiques violents. Dans les sociétés humaines l'atteinte d'un niveau minimum d'hygiène et d'assainissement constitue un facteur de résistance aux épidémies.

- **Comment estimer la sensibilité des systèmes vivants aux aléas ?**
- **Quels sont les principaux déterminants de cette sensibilité ?**
- **Quelles conséquences de l'altération ou de la perte d'écosystèmes sur la sensibilité des sociétés aux aléas ?**

Vulnérabilité et risques de conflits interétatiques

Au-delà de la sensibilité, la question de la vulnérabilité, notamment économique, des États et des filières vis-à-vis des activités et/ou de ressources naturelles spécifiques^{17,18,19} doit être traitée. Ces ressources ciblées, spécifiques ou stratégiques sont en transformation, voire en situation de disparition (e.g. modifications de déplacements des thonidés entre ZEE). La vulnérabilité se manifeste alors par la dépendance des finances publiques et la dépendance alimen-

taire ou de services vis-à-vis de ces ressources dont la disponibilité est devenue aléatoire. Les niveaux de vulnérabilité peuvent déterminer des risques plus élevés comme des stratégies exclusive d'appropriation²⁰ et de conflits interétatiques (juridicisés d'abord, sous formes répressives et/ou militarisés ensuite) pour l'accès à ces ressources, aux technologies et richesses qui s'agrègent sur elles.

Capacités d'adaptation

Bien que reconnues comme essentielles, les capacités que les écosystèmes et/ou les populations humaines ont développé pour s'adapter aux changements de leurs environnements n'ont fait l'objet que de peu d'études dans l'océan Indien. Celles réalisées révèlent des contrastes très forts et considèrent la mise en place de stratégies de développement de capacités adaptatives comme essentielles²¹. Plusieurs projets sont soutenus par la WIOMSA²². Paradoxalement, il semble que l'on connaisse un peu mieux les capacités d'adaptation des systèmes naturels que celles des systèmes humains.

- **Quelle approche systémique pour détecter les systèmes qui se sont adaptés mieux que d'autres aux contraintes de leur environnement ?**
- **Quels sont les mécanismes développés par les systèmes les plus résilients et comment les modéliser ?**
- **Est ce que ces mécanismes d'adaptation sont transférables ?**
- **Comment évaluer et comparer les capacités de transformation des systèmes naturels et humains ?**
- **Quelles en sont les limites en regard des ressources de chaque territoire et État souverain ?**

17. Guillotreau P, Campling L., Robinson J. (2012) Vulnerability of small island fishery economies to climate and institutional changes, *Current Opinion in Environmental Sustainability* (COSUST) 4(3), 287-291.

18. Robinson J., Guillotreau P, Jiménez-Toribio R., Lantz F., Nadzon L., Dorizo J., Gerry C., Marsac F. (2010) Impacts of climate variability on the tuna economy of Seychelles, *Climate Research* 43, 149-162.

19. Marsac, F., Fonteneau, A., et Michaud, P (2014) L'or bleu des Seychelles. Histoire de la pêche au thon dans l'océan Indien, IRD éditions, France, 272 p.

20. Galletti, F., Chaboud, C. (2015) Aires marines protégées et résistance aux risques. Une fonction rénovée, pour de nouvelles politiques publiques?, Bonnin M., Laë, Behnassi M. (eds.), *Les Aires marines protégées. Défis scientifiques et enjeux sociétaux en Afrique Nord-Ouest*, IRD éditions, pp. 77-88.

21. McClanahan T.R. (2009) The effects of coral bleaching on coral reef fish, fisheries, and ecosystem services in the western Indian ocean. MASMA Final Technical Report. WIOMSA Book Series N°9, viii + 52 p.

22. <http://www.wiomsa.org>

- Quelles capacités ont les états, notamment les pays émergents, à mobiliser les instruments du droit international pour réguler les conflits ou au contraire les activer ?

- Quels instruments de coopération régionale les Etats et/ou les territoires peuvent-ils mettre en place pour soutenir leur capacité d'adaptation ?

Biodiversité

CONTEXTE ET ENJEUX

Sur les 25 « hot spots » de biodiversité terrestre²³, 6 ont été identifiés dans l'océan Indien (Figure III-3). Madagascar apparaît même au premier rang avec un nombre très élevé de

plantes et de vertébrés endémiques alors que moins de 10 % de ses forêts sont considérées comme intactes. La biodiversité terrestre des systèmes insulaires de l'océan Indien se caractérise non pas par une forte richesse en espèces mais par des zones de très fort endémisme et par un grand nombre d'espèces menacées²⁴.

Figure III-3. Localisation des 25 « hot spots » de biodiversité (Myers *et al.* 2000) et classement des premiers selon le nombre d'espèces endémiques et la dégradation de la végétation primaire.



Hotspot	Endemic plants	Endemic vertebrates	Endemic plants/area ratio (species per 100km ²)	Endemic vertebrates/area ratio (species per 100km ²)	Remaining primary vegetation as % of original extent	Times appearing in top 10 for each of five factors					
Madagascar	9,704	4	771	4	16.4	8	1.3	7	9.9	9	5
Philippines	5,832	8	518	9	64.7	2	5.7	2	3.0	1	5
Sundaland	15,000	2	701	5	12.0	10	0.6	10=	7.8	7	5
Brazil's Atlantic Forest	8,000	5	654	6	8.7	0.6	10=	7.5	6	4	4
Caribbean	7,000	6=	779	3	23.5	6	2.6	4	11.3	4	4
Indo-Burma	7,000	6=	528	8	7.0	0.5	0.5	4	4.9	3	3
Western Ghats/Sri Lanka	2,180		355		17.5	7	2.9	3	6.8	5	3
Eastern Arc and Coastal Forests of Tanzania/Kenya	1,500		121		75.0	1	6.1	1	6.7	4	3

23. Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.

24. UICN France & MNHN (2008-2015). La Liste rouge des espèces menacées en France. Paris, France.

La situation semble différente pour les écosystèmes marins au sein desquels seules quelques espèces sont reconnues menacées d'extinction par l'IUCN comme 5 des 6 espèces de tortues marines, une espèce de corail, ou encore le dugong. La plupart des espèces de poisson récifaux ne sont pas considérées comme menacées d'extinction.

Si la zone sud-ouest de l'océan Indien n'est pas un « hot spot » de réchauffement attendu et si le risque de submersion insulaire y est modéré par rapport à d'autres systèmes océaniques²⁵, les pressions démographiques très fortes sur certains territoires constituent une menace avérée sur les biodiversités terrestres et marines. L'océan Indien est une des régions de la planète

où l'utilisation des terres a causé le plus d'érosion de la biodiversité²⁶ et où la gestion des ressources halieutiques est peu efficace²⁷. L'arrêt des chasses baleinières a permis aux effectifs de différentes espèces de s'accroître, mais d'autres espèces comme les requins et les raies, certains mollusques ou d'autres invertébrés, comme les holothuries²⁸, font l'objet d'une surexploitation, souvent illégale, qui menace leur existence.

Au vu des singularités écologiques et socio-économiques de l'océan indien, un renforcement de la protection juridique de la biodiversité demeure impératif et invite à renouveler les approches de conservation et de gestion durable des écosystèmes et ressources naturelles (Focus III-1).



PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Les biodiversités « cachées »

Si plusieurs compartiments biologiques ont fait l'objet d'inventaires détaillés dans certains écosystèmes de l'océan Indien, peu de travaux ont été consacrés aux microorganismes et à la faune cryptique. Les populations microbiennes constituent le support de fonctions essentielles dans l'équilibre écologique des systèmes marins. Leur diversité structurelle et fonctionnelle est un garant de stabilité et de résilience des écosystèmes. L'étude de la diversité de ces communautés microbiennes notamment celles associées aux macroorganismes (coraux, éponges, poissons,...) est importante en elle-même mais l'est tout autant vis-à-vis des interactions qu'elles supportent. Ces microorganismes font également l'objet de recherche pour identifier leur potentiel biotechnologique *sensu lato*. Quel que soit le compartiment biologique considéré, une des inconnues concerne la diversité fonctionnelle des communautés biologiques et son degré de congruence avec la diversité taxinomique.

- Quelle est la diversité des différentes communautés microbiennes des systèmes terrestres et marins ?
- Y a-t-il une biodiversité microbienne spécifique et méconnue dans les interfaces terre-mer que constituent les systèmes littoraux ?
- Quelles sont les interactions qu'elles établissent avec les macroorganismes ?
- Quelle est la diversité du métabolome associé à ces communautés et ses propriétés ?
- La diversité fonctionnelle des communautés est-elle reliée à la diversité taxinomique et phylogénétique ?
- Quelle est la diversité de la microfaune cryptique associées aux écosystèmes remarquables (récifs coralliens, mangroves) ?

25. Bellard C., Leclerc C., Courchamp F. 2014. Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots. *Global Ecol. Biogeogr.* 23 : 203-212.

26. Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., ... & Day, J. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45-50.

27. Mora, C., Myers, R. A., Coll, M., Libralato, S., Pitcher, T. J., Sumaila, R. U., ... & Worm, B. (2009). Management effectiveness of the world's marine fisheries. *PLoS Biol*, 7(6), e1000131.

28. Conan C., Mulochau T., Chabanet P. (2013). Holothurian (Echinodermata) Diversity in the Glorieuses Archipelago (Eparses Islands, France, Mozambique Channel). *Western Indian Ocean J. Mar. Sci.* 12 : 71-78

Les biodiversités « oubliées »

Toutes les communautés de prédateurs marins (oiseaux, poissons, mammifères) sont soutenues par une faune fourrage qui forme les compartiments trophiques intermédiaires entre ces prédateurs supérieurs et les communautés microbiennes. L'écologie du micronekton (animaux marins de petites tailles capables de déplacements autonomes) dans la zone sud-ouest de l'océan Indien est encore peu connue. Les gyres, comme ceux typiquement rencontrés dans le canal du Mozambique, ont une influence sur la distribution et l'agrégation du micronekton^{29,30} en concentrant ces organismes à leur périphérie. Cette distribution influence le comportement et les stratégies de prédation des organismes supérieurs^{31,32,33}. Malgré son rôle majeur vis-à-vis des ressources marines, les connaissances sur la composition du micronekton et sa dynamique dans la zone sud-ouest de l'océan Indien sont limitées³⁴.

- **Quelle est la diversité fonctionnelle du micronekton et les interactions qu'elle sous-tend ?**
- **Comment se distribue cette diversité notamment entre les zones océaniques et côtières, les zones de pêche et les aires marines protégées ?**
- **Au-delà des effets de l'hydrodynamique, quelles sont les autres facteurs de contrôle et leurs modes d'action ?**

Les sites très spécifiques, éloignés ou peu étudiés

Après les ZEE nationales, des zones de grands fonds ou de haute mer sont depuis récemment l'objet de campagnes en mer. L'éloignement et les régimes juridiques spécifiques à la haute mer et de la Zone internationale des grands

fonds marins expliquent la rareté des études sur ces sites, sauf pour ceux qui relèvent de la prospection de ressources minérales non vivantes.

Les espaces situés au-delà des limites des juridictions nationales abritent une richesse d'habitats et d'écosystèmes (64 % des océans) qui est l'objet de convoitises exacerbées par les récentes évolutions technologiques (extraction minière, pêche, énergie...). Or la convention de Montego Bay sur le droit de la mer de 1982 ne remet pas en cause le principe de la liberté de la haute mer ouverte à tous les Etats membres. Si la convention précise que les parties protègent les écosystèmes rares ou fragiles, les habitats et organismes menacés ou en voie d'extinction (art. 194), elle ne prévoit pas de cadre juridique spécifique permettant de constituer un réseau d'aires marines protégées dans ces zones. Depuis cette dernière décennie, d'après discussions ont opposé les partisans d'un nouvel instrument international et les défenseurs de cette logique de liberté d'accès et d'exploitation par les Etats.

En 2015, l'ONU décide d'engager un processus d'élaboration d'un instrument juridiquement contraignant de conservation et d'exploitation durable de ce patrimoine naturel commun de l'humanité. Cette perspective ouvre des horizons nouveaux en faveur du renforcement des connaissances sur les écosystèmes de la haute mer en particulier dans l'océan Indien.

Une campagne océanographique pluridisciplinaire s'ouvre en avril-mai 2017 dans le grand sud de l'océan Indien pour analyser conjointement la spécificité de structures géomorphologiques et de leur peuplements benthiques, le fonctionnement d'espèces pélagiques qui en dépendent et la manière dont ces éléments recueillis pèsent sur les discussions internationales, du moins celles envisageant la désignation de sites spécifiques en Aire marine protégée exceptionnelle de haute mer et hors plateaux sous souveraineté d'État³⁵.

29. Sabarros, P. S., Ménard, F., Lévêque, J. J., Tew-Kai, E., & Ternon, J. F. (2009). Mesoscale eddies influence distribution and aggregation patterns of micronekton in the Mozambique Channel. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 101-107.

30. Ménard, F., Benivary, H. D., Bodin, N., Coffineau, N., Le Loc'h, F., Mison, T., ... & Potier, M. (2014). Stable isotope patterns in micronekton from the Mozambique Channel. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 153-163.

31. Weimerskirch, H., Le Corre, M., Jaquemet, S., Potier, M., & Marsac, F. (2004). Foraging strategy of a top predator in tropical waters: great frigatebirds in the Mozambique Channel. *Marine ecology progress series*, 275, 297-308.

32. Jose, Y. S., Aumont, O., Machu, E., Penven, P., Moloney, C. L., & Maury, O. (2014). Influence of mesoscale eddies on biological production in the Mozambique Channel: Several contrasted examples from a coupled ocean-biogeochemistry model. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 79-93.

33. Jaquemet, S., Ternon, J. F., Kaehler, S., Thiebot, J. B., Dyer, B., Bemanaja, E., ... & Le Corre, M. (2014). Contrasted structuring effects of mesoscale features on the seabird community in the Mozambique Channel. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 200-211.

34. Annasawmy, P. (2015). Community composition, migration and trophic positions of micronekton in two biogeochemical provinces of the South West Indian Ocean (Doctoral dissertation, University of Cape Town).

35. Bouchet, P., Ternon, J. F., Demarcq, H., Galletti, F., Roberts, M., Ménard, F. & al. Campagne Walter Shoals 33° 12' S – 43° 50' E - 22 avril -19 mai 2017, sur navire océanographique français Marion Dufresne. Projet FFEM – UICN-SWIO 2014-2017 Conservation

- Quelles études benthiques et taxonomiques ciblées sur les écosystèmes couvrant les grands fonds marins et les dorsales océaniques ?
- Quels liens entre les isolats étudiés et les espèces pélagiques dont les États côtiers sont dépendants et protecteurs ?

Le poids des humains sur la biodiversité

Certains territoires sont restés relativement préservés des impacts par les humains (e.g. Îles Éparses ou le grand sud de l'océan Indien - activités de pêche exceptées -) et d'autres le sont beaucoup plus (e.g. Mayotte). Les conséquences du fort gradient d'anthropisation existant dans la zone sud-ouest de l'océan Indien sur les biodiversités terrestres et marines sont peu connues et offrent un cadre de recherche exceptionnel sur la vulnérabilité des écosystèmes marins et terrestres au changement global.

- Si la pression démographique s'accroît quelles conséquences peut-on en attendre sur les biodiversités terrestres et marines ?
- Est ce qu'il existe des systèmes anthropisés qui ont un impact moindre que d'autres sur la biodiversité ?

Les sources et les puits de biodiversité

Le maintien d'une forte biodiversité marine dans des zones recevant peu ou pas de nutriments issus de territoires de grande dimension (systèmes insulaires de faible dimension) ou avec peu ou pas de populations humaines pose la question de l'origine des ressources soutenant les fortes diversités animales et végétales marines. Identifier des zones sources de biodiversité et pas simplement réserve de biodiversité permettrait de concevoir les questions des aires protégées d'une façon différente.

- Existe-il des zones sources de biodiversité qui pourraient alimenter des zones puits ?
- Est ce que certains sites bénéficient d'apports en nutriments issus d'autres « producteurs » que l'homme (oiseaux, apports fluviaux...)?

- Quel rôle joue la stratification thermique des océans dans l'appauvrissement de la productivité biologique de certaines zones marines ?

Biodiversité et services écosystémiques

Le niveau de biodiversité terrestre ou marine est le plus souvent en lien avec celui des services d'approvisionnement et de régulations et de leur stabilité³⁶. Cependant, la relation biodiversité et services écosystémiques est encore peu connue en regard des différents types d'écosystèmes existant dans la zone. Elle prend une résonance particulière dans les systèmes insulaires à forte démographie avec peu ou pas de ressources terrestres mais possédant encore des ressources marines. Les gradients de pressions anthropiques des systèmes insulaires de la zone sud-ouest de l'océan Indien offrent la possibilité de vérifier leur impact sur les biodiversités et les services écosystémiques. Outre l'importance d'approfondir les recherches sur les relations entre biodiversité, services et fonctions écologiques, le concept de services écosystémiques a suscité et continue de susciter des discussions et interprétations divergentes qu'il importe de prendre en considération. En écho au rapport international du MEA et de leurs stratégies en faveur de la biodiversité et les services écosystémiques, l'Union européenne et ses Etats membres se sont engagés dans un processus de cartographie et d'évaluation des écosystèmes et de leurs services (<http://biodiversity.europa.eu/maes>). L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques s'étend à l'outre-mer et consacre une attention particulière aux forêts tropicales, mangroves et récifs coralliens. Par ailleurs, la région de l'océan Indien est présentée comme une zone de référence dans le domaine de la comptabilité du capital naturel en vue d'atteindre notamment l'objectif 2 du plan stratégique Aichi pour la diversité biologique (2011-2020). Des programmes sur ce sujet ont été lancés et soutenus par la Commission Européenne et la Commission de l'océan Indien (e.g. Experimental Ecosystems Natural Capital Accounts, Mauritius case study).

- Quelles sont les relations entre niveaux de pressions anthropiques, biodiversité et services écosystémiques aux échelles locales et régionales ?

- Peut-on exploiter les fonctions microbiennes dans les domaines de l'agronomie et de la santé et comment le faire ?

- Comment construire une comptabilité du capital naturel qui ne porte pas atteinte à la valeur intrinsèque de la biodiversité et contribue à garantir une justice sociale et environnementale ?

- Quels mécanismes et financements innovants convient-il de mettre en place en faveur

de la biodiversité et des services écosystémiques sans porter atteinte à l'intégrité écologique des écosystèmes ?

- Quels processus participatifs et dynamiques de gouvernance appropriée à la singularités de la biodiversité de l'océan indien faut-il mettre en place, renforcer et/ou réformer ?



FOCUS III.1

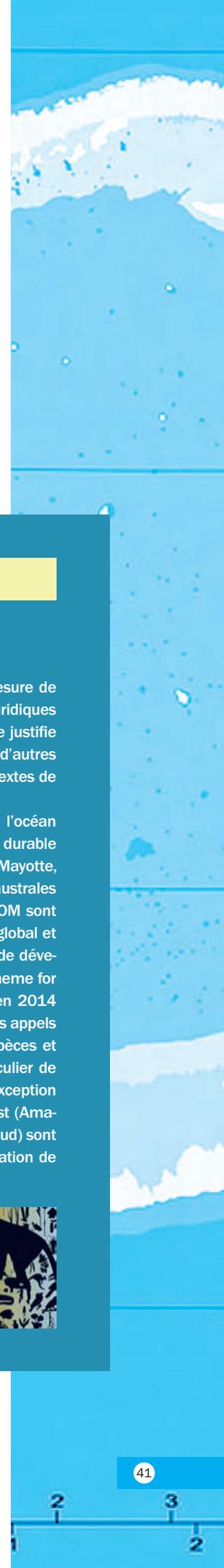
Biodiversité, RUP et PTOM...

Le renforcement de la protection juridique de la biodiversité impose de prendre la mesure de la complexité du paysage institutionnel de la région et de la pluralité des sources juridiques mobilisées. Si l'adoption de régimes juridiques de protection d'origine internationale se justifie au vu de l'importance planétaire de la biodiversité remarquable abritée par cette région, d'autres régimes régionaux, nationaux, locaux sont nécessaires pour assurer l'effectivité de ces textes de droit international et les compléter, voire tout simplement palier leur absence.

En complémentarité des actions prises à l'échelle internationale et par les Etats de l'océan Indien, depuis 2008, l'Union européenne s'est engagée à construire un partenariat durable dédié à la biodiversité avec les régions ultrapériphériques (RUP pour l'océan Indien : Mayotte, La Réunion) et les pays et territoires d'outre-mer (PTOM pour l'océan Indien : Terres australes et antarctiques françaises, Territoire Britannique de l'océan Indien). Les RUP et les PTOM sont présentés comme des « avants-postes pour observer les phénomènes de changement global et leurs impacts, y compris sur la biodiversité » et de « véritables laboratoires en matière de développement durable »¹. En 2010, la création de l'action préparatoire BEST² (Voluntary scheme for Biodiversity and Ecosystem Services in Territories of european overseas) consolidée en 2014 (Best 2.0) vise à accompagner financièrement les projets en faveur de la biodiversité. Des appels à propositions sont lancés depuis 2011. Ce dispositif volontaire de protection des espèces et des habitats s'inspire de la politique de protection de la Biodiversité de l'UE, en particulier de Natura 2000 (directive 92/43/CEE), réseau européen qui ne couvre pas les RUP (à l'exception Madère, Açores, Canaries) et les PTOM. Les 7 réseaux régionaux du consortium de Best (Amazonie, Caraïbes, océan Indien, Macaronésie, Pacifique, Polaire/subpolaire et Atlantique Sud) sont notamment chargés d'élaborer des profils d'écosystèmes destinés à faciliter l'identification de priorités de conservation et de stratégie d'investissement.



1. Bulletin d'information BEST, 2016, 16 pages. http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/best/pdf/best_newsletter_03_fr.pdf.
2. http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/best/index_fr.htm



Gestion des ressources naturelles

CONTEXTE ET ENJEUX

« El Dorado » pour quelques-uns, radeau de la méduse pour les autres – les premiers sont notamment les exploitants de bois de rose à Madagascar, les grandes entreprises de pêche au thon ou encore les compagnies internationales impatientes d'exploiter les ressources minières et énergétiques des grands fonds marins – les seconds sont les populations de la plupart des îles qui souffrent de multiples contraintes locales les conduisant à émigrer souvent de façon clandestine ou à prélever des ressources de façon illégale.

La situation de l'océan Indien est très contrastée : des ressources terrestres limitées voire très érodées et des ressources marines importantes basées sur une biodiversité encore forte³⁷.

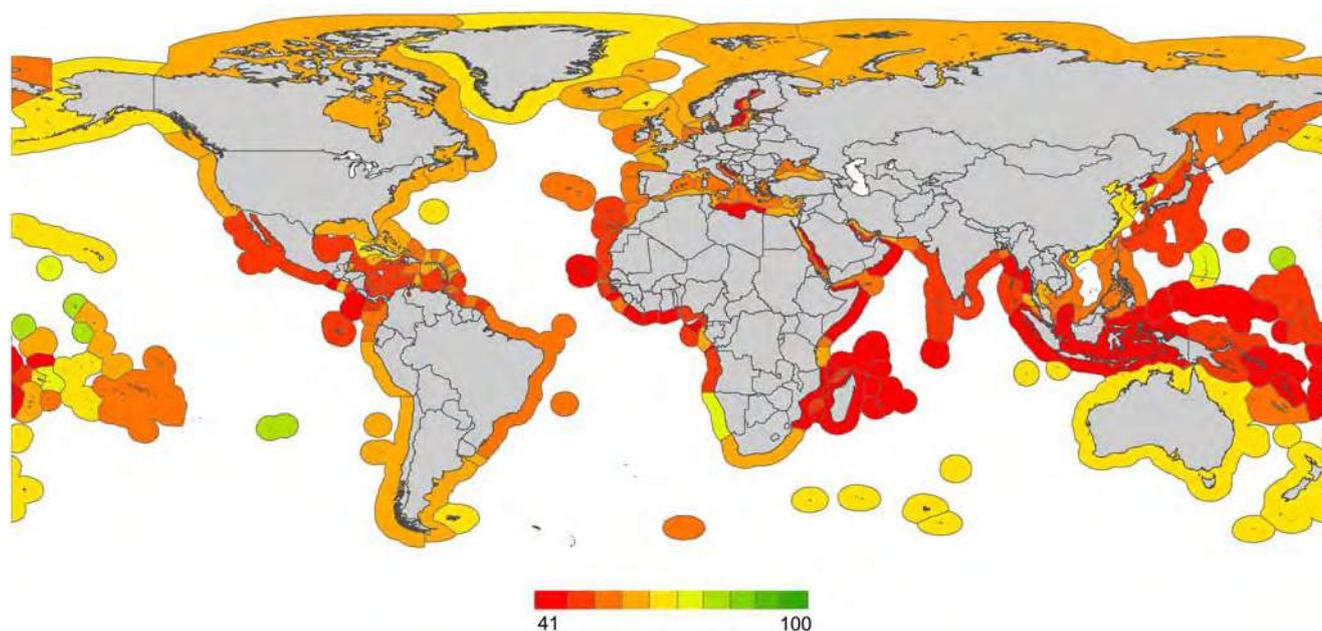
Seules les très grandes îles comme Madagascar ou celles ayant bénéficié d'importants soutiens de leur métropole comme La Réunion, peuvent espérer tirer de leurs territoires des ressources suffisantes. Mais ce, uniquement au prix d'une gestion raisonnée de leur environnement.

La plupart des autres îles dont la densité démographique s'est accrue de façon significative ont déjà largement consommé leur pa-

trimoine principalement à travers l'utilisation d'espaces naturels au profit d'une urbanisation non maîtrisée. Les zones littorales en ont été et en sont encore les principales victimes. Des écosystèmes rendant des services précieux, comme les mangroves, ont régressé (8 % entre 1980 et 2005)³⁸, même si cette régression a été moins forte que dans le reste du monde. Cette régression est très variable suivant les pays : forte au Kenya et à Madagascar, mieux protégées en Tanzanie ou au Mozambique. La plupart du temps, les mêmes populations se sont tournées vers les ressources marines avec pour conséquence l'épuisement des ressources les plus immédiatement accessibles, puis un déplacement vers des sites distants offrant une plus forte rentabilité momentanée. Ainsi, la gestion des ressources halieutiques à l'échelle régionale est considérée comme déficiente (Figure III-4).

L'inventaire des ressources de la zone est loin d'être terminé (e.g. ressources biologiques profondes) mais il est malheureusement tout à fait probable que les pressions en cours simplifient l'exercice...

Figure III-4. Efficacité de la gestion des ressources halieutiques pour les différentes zones exclusives marines (Mora et al. 2009³⁹).



37. Michel D., Fuller H., Dolan L. (2012). Natural resources in the Indian ocean: fisheries and minerals. Pp:103-112. In: Indian Ocean Rising: maritime security and policy challenges. Michel D. & Sticklor R. (eds.). Stimson, Washington

38. Spalding, M. (2010). World atlas of mangroves. Routledge.

39. Mora, C., Myers, R. A., Coll, M., Libralato, S., Pitcher, T. J., Sumaila, R. U., ... & Worm, B. (2009). Management effectiveness of the world's marine fisheries. PLoS Biol, 7(6), e1000131.

PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

La gestion des ressources a longtemps été considérée en regard d'un bénéfice économique et/ou d'une espèce cible. La vision de la gestion des ressources s'est notablement modifiée dès lors que la notion de services écosystémiques s'est imposée, non pas tant par l'évaluation économique qui lui est associée mais davantage par l'approche systémique sur lesquels ils reposent. A ce titre c'est l'ensemble des ressources d'un territoire qu'il importe de considérer simultanément et non de façon sectorisée. Cette approche globale est la seule qui permette d'en envisager une gestion durable et synergique.

En 2015, l'ensemble des services rendus annuellement par les écosystèmes de l'océan Indien est évalué à plus de 25 milliards de dollars US⁴⁰.

Ressources en eau

Que ce soit dans les zones côtières continentales ou sur les îles de petite dimension et à forte densité humaine, la quantité, mais aussi de plus en plus la qualité des ressources en eau devient une préoccupation majeure. Si la problématique de l'eau potable est dominante, les autres usages sont également menacés⁴¹. Pollutions chimiques et/ou microbiologiques diverses et plus généralement eutrophisation des eaux avec des efflorescences algales nuisibles constituent des obstacles actuellement insurmontables pour différents pays qui ne possèdent ni les moyens financiers, ni les technologies pour s'attaquer aux causes de ces dégradations, ni en réduire les conséquences par des approches conventionnelles.

- **Quels sont les conflits d'usage actuels et à venir vis-à-vis des ressources en eau et de la protection des milieux aquatiques ?**
- **Quelles sont les limites qu'imposent les ressources en eau à l'habitabilité des socio-écosystèmes de la zone ouest de l'océan Indien ?**
- **Quelles stratégies peuvent être envisagées pour optimiser la gestion des ressources en eau douce qui deviennent un facteur limitant sur certaines îles compte tenu de leur démo-**

graphie et /ou des besoins individuels croissants ? Quels scénarios peuvent être proposés adaptés à une échelle locale ?

Ressources biologiques

La biodiversité des organismes vivants (faune, flore, microorganismes) et leurs interactions font partie des supports reconnus des services écosystémiques.

Au-delà des ressources « classiques », support direct de l'alimentation des populations humaines (agriculture, élevage, pêche, aquaculture), les ressources génétiques naturelles, marines et terrestres, ont fait et font l'objet d'une attention croissante de la part d'un grand nombre d'industries (pharmaceutiques, cosmétiques, alimentaires, agricoles, biotechnologiques,...). Adopté en 2010 lors de la 10^e conférence des Parties à la convention sur la diversité biologique, le protocole de Nagoya (<https://www.cbd.int/abs/doc/protocol/nagoya-protocol-fr.pdf>) vise à renforcer les capacités de recherche et d'innovation en matière d'accès aux ressources génétiques et connaissances traditionnelles associées tout en imposant aux autorités compétentes d'assurer un partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation. Sa mise en œuvre devrait permettre, si les Parties respectent leurs engagements internationaux, une gestion plus équitable des bénéfices éventuels envers les populations et pays du Sud. En effet, jusqu'à aujourd'hui, excepté pour l'Afrique du Sud, l'essentiel des activités de recherche, de développement et de commercialisation des ressources génétiques se font à l'extérieur de la zone sud-ouest de l'océan Indien. Pour la partie marine, l'intérêt se porte sur les écosystèmes « extrêmes » où les organismes ont su développer des voies de biosynthèse leur permettant de produire des composés originaux. Mais ce sont les microorganismes associés à des animaux comme les éponges dont les métabolomes sont les plus étudiés.

La reconnaissance des différentes facettes de la biodiversité du vivant (taxinomique, phylogénétique, fonctionnelle) a eu pour conséquence

40. UNEP-Nairobi Convention and WIOMSA (2015). The Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean. UNEP and WIOMSA, Nairobi, Kenya, 546 pp.

41. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO.

de renouveler l'approche des descripteurs utilisés pour juger des impacts des pressions anthropiques sur les ressources biologiques et des mesures de gestion. Peu de travaux ont été consacrés à cette thématique. Pourtant les Etats, notamment en développement, connaissent des difficultés considérables pour encadrer juridiquement la recherche entre l'État prospecteur (ou leurs opérateurs et ressortissants) et l'État fournisseur de ressource biologique et pour organiser de nouvelles modalités de répartition⁴² des bénéfices, conformément au protocole de Nagoya concernant la mise en place de mécanismes d'accès aux ressources génétiques et de partage des avantages issus de leur utilisation (APA).

Si le devoir d'inventaire s'impose, la connaissance de la dynamique spatiale et temporelle des ressources biologiques est encore plus indispensable. Faire la part des facteurs naturels et anthropiques dans le contrôle de cette dynamique est un élément indispensable pour en proposer une gestion durable.

- **Quelle stratégie partagée mettre en place pour explorer la diversité des groupes taxonomiques sous-explorés comme les bactéries, les archées et les microalgues ?**
- **Quelles sont les zones sources et puits des ressources biologiques ?**
- **Quels liens existent-ils ou pas entre les deux types de zones ?**
- **Quelles sont les menaces qui affectent ou pourraient affecter non seulement les zones les plus riches mais aussi celles qui « produisent » de la biodiversité ?**
- **Quelles sont les limites à l'exploitation de certaines ressources ?**
- **Quelles alternatives proposer à la pêche tout azimut ?**
- **Comment la diversité biologique des systèmes terrestres et marins peut servir à proposer des systèmes de culture diversifiés, productifs et résilients ?**

- **Quelles réformes juridiques les États et territoires de l'océan Indien doivent-ils entreprendre pour assurer ce partage équitable des avantages issus de la valorisation de la diversité biologique tout en préservant leur souveraineté sur les ressources naturelles confirmée par la convention CDB ?**

Ressources minérales et énergétiques

Les territoires maritimes des fonds de l'océan Indien n'échappent pas à une prospection de ces ressources par plusieurs États. Outre les gisements d'hydrocarbures et de gaz, des formations de sulfures polymétalliques et d'encroûtements cobaltifères et manganésifères ont été identifiés dans le canal du Mozambique. Plusieurs sites de monts sous-marins en abritent. L'exploitation de ces ressources suscite des intérêts de la part de nombreux pays, à commencer par les pays riverains qui débouchent sur des litiges diplomatiques sur la délimitation des ZEE entre États.

L'intérêt pour ces ressources s'est récemment manifesté par l'attribution de plusieurs permis d'exploration par l'état Comorien ou la compétition de multiples opérateurs internationaux quant à l'exploration de gisements de gaz du Mozambique et de la Tanzanie.

Le peu de connaissances sur les géo-écosystèmes profonds qui abritent ces ressources oblige à poursuivre un effort de recherche important. La récente expertise collective menée par le CNRS et l'Ifremer⁴³ a conduit à identifier 3 questions principales qui sont reproduites ci-après.

- **Quels sont les processus de formation et de transformation des éléments liés aux ressources minérales marines profondes ?**
- **Quels processus gouvernent la variabilité naturelle et le maintien de la biodiversité des écosystèmes associés aux ressources minérales marines profondes, leur fonctionnement et leur métastabilité ?**
- **Quelle peut être l'importance des impacts potentiels liés à l'exploitation des ressources minérales marines profondes et les réponses de la biodiversité et des écosystèmes dans un contexte de changement global ?**

42. Galletti, F. (2007) La gestion juridique de la biodiversité dans un pays en développement. Le cas de Madagascar. C. Chaboud, G. Froger et R.Méral (Eds.), Madagascar face aux enjeux du développement durable. Des politiques environnementales à l'action collective locale, Karthala, Paris, pp. 81-105.

43. J. Dymont, F. Lallier, N. Le Bris, O. Rouxel, P.M. Sarradin, S. Lamare, C. Coumert, M. Morineaux, J. Tourolle (coord.) (2014) Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport, CNRS – Ifremer, 110 p.

- Quels enjeux et quelles politiques de transition énergétique ? Quels leviers d'action au plan local, et régional ? Quels enseignements tirés de la sociologie de l'action publique en matière d'appropriation des enjeux de transition environnementale dans le contexte de l'océan Indien ?

De plus, comme au-delà des zones de juridiction des États de l'océan Indien s'est également déjà développé le processus de demande de concessions de blocs sous-marins pour l'exploration et l'exploitation minière, de nouvelles questions de recherches sont nées :

- Quels sont les particularismes respectifs des situations de demandes d'exploitation minière sur la Zone internationale des grands fonds marins ou sur des zones sous juridiction nationale ?
- Quelles articulations sont établies et à établir entre le droit de l'exploitation minière sous-marine et les contraintes environnementales mises à la charge des opérateurs avant et après opérations ?
- Quel est l'encadrement du droit de l'investissement direct et/ou international pour les exploitations des ressources minérales marines et quelles évolutions sont à envisager ?
- Quels sont les processus de concertation et/ou participation des populations concernées ?

Gestion durable des ressources

Si le principe de la gestion intégrée de la zone côtière (GIZC) – par ailleurs évolutif – s'applique aux îles (proposition de dénomination « G2I » pour gestion intégrée des îles), l'objet d'étude et de gestion devient les socio-écosystèmes insulaires avec des problématiques qui consistent à intégrer les connaissances et les actions le long du continuum terre-mer sur l'ensemble du territoire et à identifier les capacités d'adaptation aux changements attendus sur les territoires insulaires et côtiers.

- Quelle est la vulnérabilité des ressources disponibles sur les différents territoires en regard des pressions humaines et des aléas ?

- Quels outils (réseaux d'observation, modélisation à très haute résolution) développer pour améliorer le diagnostic et les prévisions des risques en zone sensible (érosion, exploitation sous-marine, pollution, tsunamis...)?

- Quels sont les déterminants environnementaux et sociaux de la vulnérabilité des ressources et de leurs trajectoires ?

- Quel équilibre entre conservation et exploitation des ressources agronomiques, forestières et halieutiques permettant de maintenir une sécurité alimentaire et/ou un revenu, et le bon fonctionnement des écosystèmes ? Quel équilibre faut-il promouvoir entre activités artisanales et industrielles ?

- Quelles sont les nouvelles ressources les mieux adaptées au développement des systèmes insulaires ?

- Comment articuler les politiques publiques et les modes de gestion aux GIZC dont le concept évolue et est concurrencé notamment par celui de planification spatiale marine ?

Régimes de souveraineté, de juridiction, et transformations internationalement discutées

Alors même que les actions dans les mers territoriales ne sont pas ou peu entreprises, les questions juridiques difficiles ayant trait aux ressources en situation océanique, sont sans doute celles qui concernent d'abord les ZEE, puis ensuite les espaces maritimes internationaux (situés au-delà de la juridiction étatique, dits en langue anglaise Areas Beyond National Jurisdiction ABNJ). Les instruments et possibilités d'en traiter restent très distincts, la démarcation entre la zone de et la zone hors de la juridiction restant très marquée et conditionnant les possibilités d'action... Les questions concernent également la protection par un seul ou collective des richesses biologiques et devraient permettre d'intégrer les risques actuels (pêches illégales, pollutions...) et futurs (exploitation des ressources énergétiques et minières, élévation du niveau de la mer...) que leur font encourir directement ou indirectement certaines activités humaines notamment par des opérateurs d'États non issus de la région de l'océan Indien.



Ceci se décline au travers de plusieurs questions principales :

- Faut-il mieux faire connaître les règles et les expériences de gouvernance en mer dans la région de l'océan Indien ?
- Peut-on adapter les cadres juridiques pour permettre aux systèmes insulaires d'être plus performants en termes d'adaptation aux changements locaux et globaux ?
- Comment l'identification et la reconnaissance de la connectivité naturelle distribuée entre les zones maritimes des États peuvent être prises en compte dans les droits et devoirs des pays d'une même région maritime ?
- Dans le cadre des zones en dehors des juridictions nationales, enjeu international de par leur potentiel de ressources extractibles, quelles réponses et moyens de régulation apporter qui permettraient de protéger des zones sensibles en termes de biodiversité ?
- Comment préparer une gouvernance régionale et les États riverains à la protection juridique de zones éloignées en haute mer et /ou sur la zone au-delà des plateaux continentaux nationaux ?
- La Convention de Nairobi peut-elle porter un tel mandat (sous réserve de son évolution) ?
- Quel statut pour les aires au-delà des juridictions nationales ?
- Quelles perspectives pour le concept de patrimoine commun de l'océan Indien ?
- Quels instruments du droit de la mer les plus susceptibles de cibler la régulation et la résolution des conflits interétatiques pour l'accès aux ressources dans l'océan Indien contemporain ?

Restauration

La dégradation des systèmes naturels concerne aussi bien la partie terrestre que littorale ou marine de la plupart des territoires de l'océan Indien. Les causes en sont multiples mais connues pour la plupart d'entre-elles : érosion, littoralisation des populations, urbanisation, déforestation, rejets non contrôlés,...

Les services écosystémiques perdus ne font pas suffisamment l'objet d'une évaluation économique permettant aux sociétés et aux décideurs de mesurer les conséquences de ces pertes de façon tangible et de prendre conscience que certaines décisions basées sur des considérations à court terme sont très coûteuses à terme. L'exemple régional des mangroves montre que le maintien de systèmes de mangrove en bon état écologique a grandement limité les dommages du tsunami de décembre 2004⁴⁴. Mais un débat important existe sur les résultats des multiples actions de restauration de la mangrove versus celles visant à en favoriser la régénération naturelle qui semble plus pertinente.

Une des questions relative aux actions de restauration est d'évaluer si ces actions permettront de retrouver des caractéristiques fonctionnelles, et donc des services écosystémiques, équivalentes à celles existant initialement. Cela revient à comprendre les facteurs de résilience des systèmes naturels et/ou des socio-écosystèmes et à les prendre en compte dans les scénarios de restauration (e.g. Tanaka et al. 2007⁴⁵).

- Comment engager, y compris juridiquement, les acteurs publics et privés dans des processus de restauration et de compensation écologique, selon quels mécanismes et à quelles conditions spatio-temporelles ?
- Quels sont les systèmes qui doivent être restaurés en priorité ?
- Quelles sont les objectifs fonctionnels et de résilience à atteindre ?
- Quels critères doivent être pris en compte pour juger de l'efficacité des actions de restauration ?

44. Dahdouh-Guebas F., Jayatissa L.P., Di Nitto D., Bosire J.O., Lo Seen D., Koedam N. 2005. How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami? *Current Biology*, 12 : 443-447.

45. Tanaka N., Sasaki Y., Mowjood M.IM., Jinadasa K.B.SN., Homchuen S. 2007. Coastal vegetation structures and their functions in tsunami protection: experience of the recent Indian Ocean tsunami. *Landscape Ecol. Eng.* 3 : 33-45.

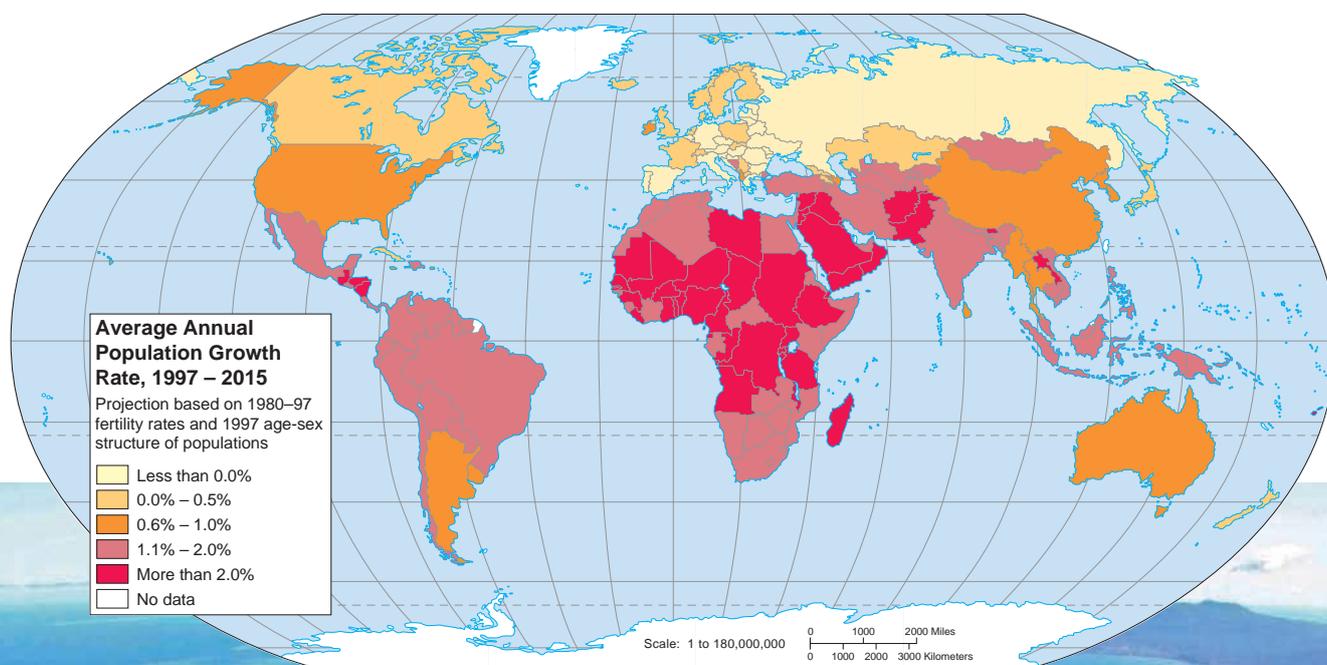
Enjeux sociétaux

CONTEXTE ET ENJEUX

Avec des écarts considérables en termes de PIB, des ressources inégalement réparties, des densités démographiques très contrastées et des flux migratoires en grande partie non contrôlés⁴⁶, les populations des territoires de l'océan Indien sont confrontées à des défis de développement qui impliquent d'associer les connaissances actuelles et de promouvoir les futures recherches dans un cadre résolument interdisciplinaire. Les défis sociétaux spécifiques à l'océan Indien sont

d'abord ceux de la gestion des pressions anthropiques locales notamment démographiques (Figure III-5) et des inégalités sociales et environnementales qui si elles sont maîtrisées donneraient des degrés de liberté essentiels pour réaliser l'adaptation aux changements globaux.

Figure III-5. Dynamique annuelle de la démographie pour l'ensemble des pays entre 1997 et 2015. <http://pages.uwc.edu/keith.montgomery/Demotrans/demtran.htm>



46. Roinsard, N. (2014). Des inégalités aux mobilités Outre-mer : une sociologie des migrations dans la France de l'océan Indien (Mayotte, La Réunion). pp : 95-117, In : Mobilités ultramarines, Éditions des Archives Contemporaines, Paris, 263 p.

PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Les socio-écosystèmes comme objet de référence

La zone sud-ouest de l'océan Indien abrite des territoires très contrastés en regard de différents critères sociaux, économiques, environnementaux, politiques... L'approche qui a largement prévalu à ce jour est celle consistant à étudier de façon distincte les systèmes sociaux et les systèmes écologiques, limitant de facto la compréhension des interactions et leur prise en compte dans le devenir conjoint de ces systèmes complexes. La reconnaissance des sociétés humaines comme composante à part entière des écosystèmes⁴⁷ a notamment conduit à proposer de prendre comme objet d'étude du développement durable des territoires les socio-écosystèmes (SES) ce qui doit conduire à plus d'interdisciplinarité. De plus, la zone sud de l'océan Indien présente un intérêt heuristique pour l'anthropologie, l'histoire, l'histoire institutionnelle et politique, la géographie, la sociologie et l'archéologie en tant qu'aire culturelle et domaine de recherche à part entière⁴⁸.

- **Comment caractériser les SES de l'océan Indien ? Quelles analogies présentent-ils avec les territoires insulaires d'autres océans ?**
- **Peut-on dessiner une typologie des territoires de l'océan Indien à travers les caractéristiques des socio-écosystèmes qui les composent pour en identifier les principales catégories ?**
- **Quelle identité pour l'Indianocéanie : une entité géographique, culturelle et écologique ? Quelles évolutions du lien entre identité culturelle et appartenance régionale ?**

Vulnérabilité versus résilience des SES

La vulnérabilité est un concept partagé entre disciplines pour analyser les réponses socio-écologiques couplées aux changements environnementaux. Elle est définie comme la propension ou la prédisposition d'un système d'être affecté négativement⁴⁹. La vulnérabilité est considérée comme fonction du niveau d'exposition aux aléas, de la sensibilité du système considéré et de ses capacités adaptatives. Pour de nombreux territoires de l'océan Indien, la connaissance de ces composantes est sinon absente du moins limitée⁵⁰.

- **Comment identifier et mesurer les différentes composantes de la vulnérabilité des SES ?**
- **Comment les associer pour estimer la vulnérabilité actuelle et future des SES ?**
- **Quels sont les raisons pour lesquelles certains SES sont plus robustes ou résilients que d'autres en regard de certaines contraintes ?**

Questions de sécurité

Les questions de sécurité se sont démultipliées, une partie de l'océan Indien n'est pas tout-à-fait calme à cet égard. La question de la sécurité se décline à travers plusieurs aspects maritime, alimentaire, énergétique assez peu analysés ensemble par comparaison avec d'autres zones comme l'Asie du Sud-Est par exemple. Ceci commence à évoluer mais les aspects de sécurité maritime, surtout pris sous l'angle de la piraterie, ont pris l'avantage dans les analyses disponibles⁵¹.

47. Anderies, J. M., M. A. Janssen, and E. Ostrom (2004) A framework to analyze the robustness of socialecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society* 9(1): 18. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18>.

48. Berger, L., & Blanchy, S. (2015). La fabrique des mondes insulaires. Altérités, inégalités et mobilités au sud-ouest de l'océan Indien *Etudes rurales*, 194 : 11-46.

49. Oppenheimer M, Campos M, Warren R *et al.* (2014) Emergent risks and key vulnerabilities. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ *et al.* (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, pp 1039-1099.

50. Cinner, J. E., David ,G. (2011) The human dimensions of coastal and marine ecosystems in the western indian ocean, introduction. *Coastal Management* 39 (4), 351-357.

51. Michel, D. & Sticklor, R. (2012) *Indian Ocean Rising: Maritime Security and Policy Challenges*, Stimson, Washington DC, 135 p.

52. Galletti, F. (2011) Law and legal framework for marine protected areas: from the historical biological diversity preservation function, to the role of insurance regarding the consequences of the risks linked to climate change *World Forum on Climate Change Agriculture and Food Security WFCCAFS Newsletter*, Pakistan, 2011, 1 (3), 3-4.

53. Galletti, F., Chaboud, C. (2015) Aires marines protégées et résistance aux risques. Une fonction rénovée, pour de nouvelles politiques publiques?, Bonnin M., Laë, Behnassi M. (eds.), *Les Aires marines protégées. Défis scientifiques et enjeux sociétaux en Afrique Nord-Ouest*, IRD éditions, pp. 77-88.

Les liens entre ces trois aspects pourraient être plus documentés. Ainsi le lien sécurité alimentaire/sécurité nationale stratégique : il existe quand il y a la recherche d'une sécurisation de la disponibilité de la diversité biologique (qui justifie de limiter les atteintes à celle-ci par des mesures publiques pour en permettre la meilleure reproductibilité) et l'utilisation élargie du procédé des aires marines protégées comme outil de garantie et d'assurance nationale de la réservation du site et des ressources recelées, pour le bénéfice national, à l'exclusion de celui d'autres États^{52,53}.

Questions juridiques et de gouvernance régionale

Au plan institutionnel, la zone océan Indien est composée d'États souverains insulaires ou continentaux, certains détenant des territoires terrestres (et leurs espaces maritimes liés) à statuts juridiques divers (cf. Focus III-1).

La situation est celle d'un foisonnement institutionnel avec une gouvernance mal connue car peu étudiée ou présentée comme un ensemble ou un système. Elle peut être analysée à part entière comme un objet de recherche en transformation. Parmi les nombreux instruments juridiques en vigueur qui forment un ensemble de règles qui donnent corps à la gouvernance environnementale et maritime régionale et nationale dans la zone⁵⁴, il y a la convention mer régionale – dite de Nairobi – qui réunit 10 États Parties (signataires) - Afrique du Sud, Comores, France, Kenya, Madagascar, Maurice, Mozambique, Tanzanie, Seychelles et Somalie et est entrée en vigueur le 30 mai 1996 bien que signée le 21 juin 1985. Celle-ci a été révisée en 2010. L'appellation actuelle, « Convention pour la protection, la gestion et la mise en valeur du milieu marin et côtier de la région de l'océan Indien occidental » - Convention de Nairobi amendée (2010) a remplacé la précédente qui était « convention pour la protection, la gestion et le développement de l'environnement marin et côtier de la région de l'Afrique de l'Est ».

Sur l'effectivité de cet instrument, cette convention est juridiquement contraignante mais sa zone d'application, donc l'emprise spatiale des

règles qu'elle peut édicter, ne comprend, côté mer, que les eaux sous juridiction des parties contractantes. Elle arrête donc sa compétence à la limite extérieure des ZEE États Parties et ses dispositions ne s'étendent pas à la haute mer.

À cette convention sont adjoints deux protocoles initiaux (1985, mais entrés en vigueur comme elle le 30 mai 1996), l'un concernant les aires protégées et la faune et la flore sauvages de la région d'Afrique orientale, l'autre concernant la coopération dans la lutte contre les pollutions marines en cas d'urgence région d'Afrique orientale. Un troisième protocole, le protocole de lutte contre les pollutions telluriques en Afrique de l'Est, a été signé en 2010 et n'est pas encore entré en vigueur. Enfin le quatrième, un protocole relatif à la gestion intégrée des zones côtières est en cours de négociation depuis 2012 mais l'opportunité du traitement de cette question GIZC dans la forme juridique précise d'un protocole a été remise en cause en 2016. Des formes plus souples pouvant être utilisées pour diffuser auprès des États-Parties cette nécessité d'organisation des GIZC.

Le nombre des institutions présentes dans le paysage de la gouvernance des espaces ou des ressources marines, de même que les règles qu'elles manient, confirment dans l'océan Indien, mais comme ailleurs, la fragmentation du droit océanique (au sens du droit applicable sur un océan). La diversité des organisations régionales de gestion des pêches présentes et leurs mandats respectifs sur les ressources halieutiques quelles soient pélagiques ou benthiques (CTOI, CCAMLR, plus récemment SIOFA...) illustre la diversité du paysage institutionnel.

- **Comment articuler ces superpositions de compétences d'acteurs et de systèmes juridiques (nationaux ; régionaux, internationaux) et quelles évolutions, voire transformations de la gouvernance sont à envisager ?**
- **Comment s'appuyer sur la convention de Nairobi sur le milieu marin et côtier de l'océan Indien occidental pour appréhender des enjeux et problématiques situés au-delà des zones de juridiction ?**

54. Galletti, F., Leroy, A. (2015) Revue du cadre de gouvernance de l'océan Indien occidental. Rapport de recherche IRD – UMR MARBEC 248– Activité 212 Gouvernance, Projet du Fond français pour l'environnement mondial FFEM et UICN « Conservation et exploitation durable des écosystèmes de monts sous-marins et sources hydrothermales du sud ouest de l'océan Indien au-delà des zones de juridiction nationale (2014-2017) », 73 p.



- Quelles contributions renforcées en faveur du développement durable de cette région de l'océan Indien peut apporter l'Union européenne au titre de ses politiques de coopération avec les régions ultrapériphériques, d'association avec Pays et Territoires d'Outre-mer et de ses relations extérieures avec les pays tiers ?

Quelles conséquences pour la zone sud-ouest de l'océan Indien de la formalisation des réflexions sur les biodiversités lointaines (BBNJ Biodiversity Beyond National Jurisdiction) ?

Le comité préparatoire, chargé des recommandations principales à l'Assemblée Générale des Nations unies (AGNU) sur le projet d'instrument international juridiquement contraignant apte à agir sur les zones au-delà des juridictions nationales, a débuté ses travaux. Ses propositions seront conçues selon quatre thématiques précédemment identifiées en 2011 : les ressources génétiques marines, en particulier les questions portant sur le partage d'avantages issus de leur exploitation, les instruments de gestion des zones ZAJN, dont les aires marines protégées de haute mer, les évaluations d'impact sur l'environnement en haute mer, le renforcement

des capacités, dont le transfert de technologie marine.

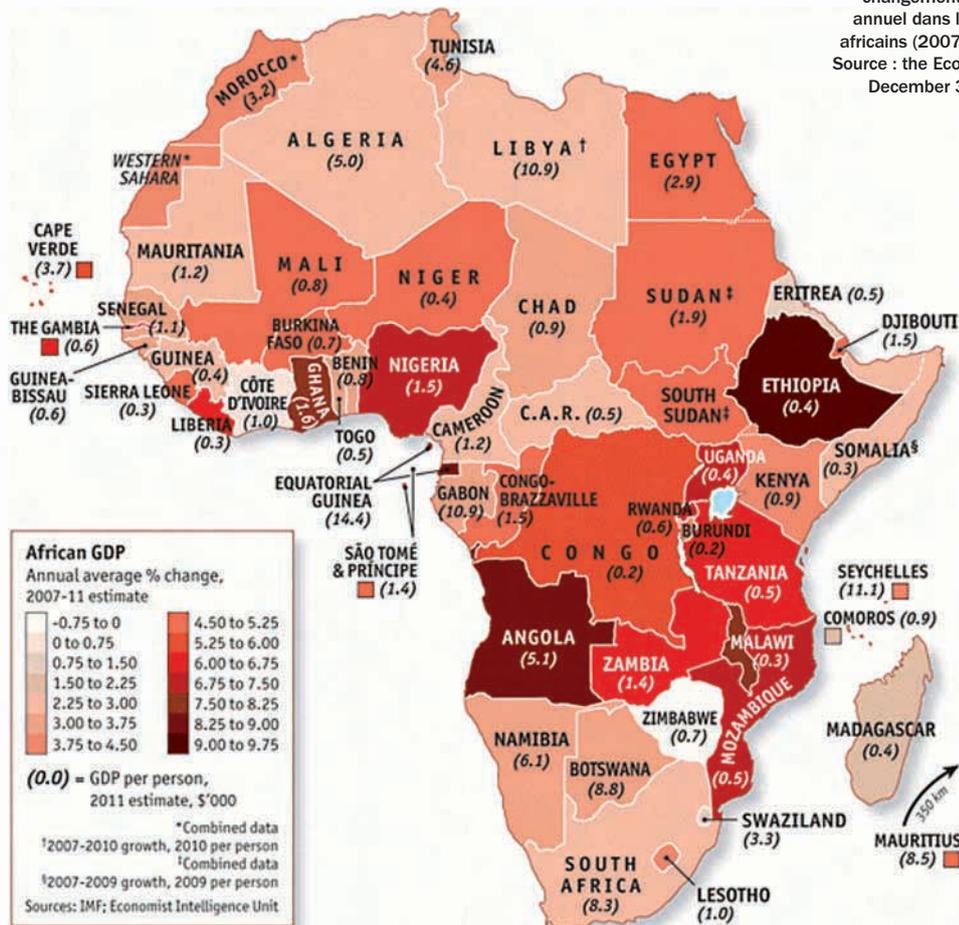
La soixante-douzième session de l'Assemblée Générale des Nations unies décidera de convoquer ensuite une conférence intergouvernementale, sous les auspices des Nations unies afin de proposer un accord juridique international probablement en 2018. Cette procédure ne fait pas disparaître les instruments légaux préexistants, ni les cadres institutionnels mondiaux, régionaux et sectoriels actuels, mais il s'agit d'une avancée de principe très considérable⁵⁵.

Ce sont les États Parties à ce futur nouvel instrument universels, les membres d'agences spécialisées et certains observateurs, et les accords ou arrangements en découlant qui donneront l'étendue – dans l'océan Indien – des vraies possibilités d'un tel texte. Les résultats des projets d'étude de la diversité biologique comme celui FFEM/UICN Conservation et exploitation durable des écosystèmes de monts sous-marins et sources hydrothermales du sud-ouest de l'océan Indien au-delà des zones de juridiction nationale (2014-2017), ou même le processus de désignation des zones marines d'importance écologique ou biologique (ZIEB/EBSA) peuvent apporter des éléments de fait à la mobilisation des États pour des sites à désigner prioritairement.

55. Wright, G., Rochette, J., Druel, E., Gjerde, K. (2015). The long and winding road continues: Towards a new agreement on high seas governance, Study N°01/16, IDDRI, Paris, France, 50 p.



Figure III-6. Taux de changement du PIB annuel dans les pays africains (2007-2011). Source : the Economist, December 3 2011.



Développement durable

CONTEXTE ET ENJEUX

La zone ouest de l'océan Indien dispose d'atouts remarquables pour parvenir à s'inscrire efficacement dans une trajectoire de développement durable.

Sur le plan sociétal, les populations qui forment au sens restreint les dix États de la région ouest de l'océan Indien sur les 35 au sens élargi qui sont riverains de celui-ci (en incluant le nord et l'est de celui-ci) ont une histoire riche et variée et disposent d'héritages culturels, de savoir-faire traditionnels et de ressources qui représentent collectivement un capital très

important en termes de capacités d'adaptation et d'innovation.

La plupart de ces populations se caractérisent aussi par des taux de croissance démographiques très importants. De l'ordre de 2 % dans les principaux pays continentaux, cette croissance constitue un défi particulier dans la plupart des systèmes insulaires qui atteignent ou atteindront des densités très importantes. Dans de nombreux États, les populations se concentrent dans les zones littorales qui s'urbanisent d'autant plus rapidement.

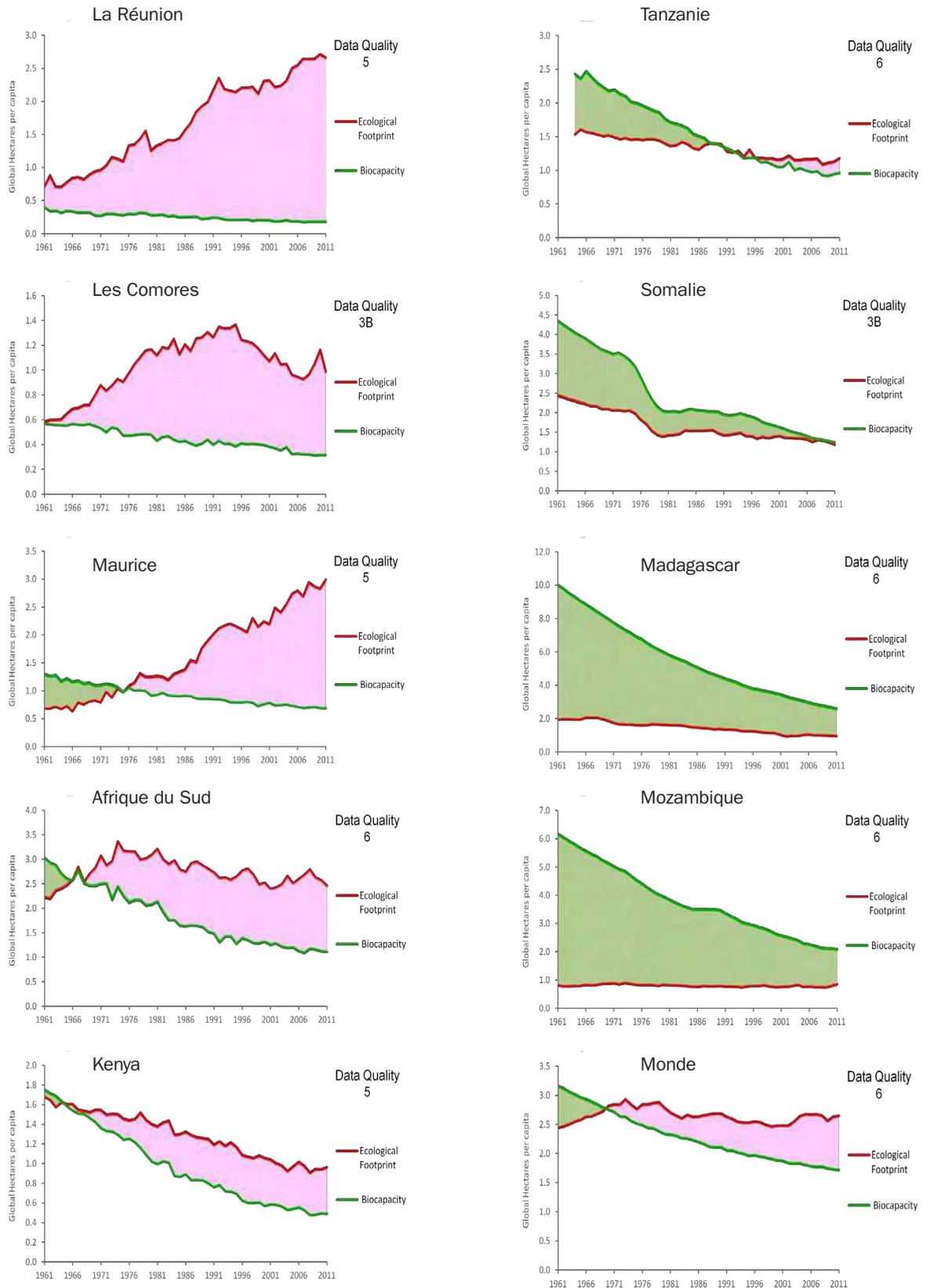


Figure III-7. Evolution des empreintes écologiques et des biocapacités des différents pays de la zone sud-ouest de l'océan Indien. Les données proviennent du Global Footprint Network⁵⁶.

L'Empreinte écologique évalue la surface productive nécessaire à une population pour répondre à sa consommation de ressources et à ses besoins en absorption de déchets.

La biocapacité, capacité biologique, d'une zone biologiquement productive (appelée aussi zone bioproduitve) donnée désigne sa capacité à produire une offre continue en ressources renouvelables et à absorber les déchets découlant de leur consommation, notamment la séquestration du dioxyde de carbone.

56. Global Footprint Network. National Footprint Accounts, 2015 Edition. Please contact Global Footprint Network at data@footprintnetwork.org for more information.

Aux richesses d'origine biologique qui historiquement confèrent un potentiel de services très vaste pour les populations, s'ajoute désormais des ressources énergétiques et minérales très importantes qui peuvent offrir un large potentiel de développement économique et social à des bénéficiaires d'abord étatiques, puis aux opérateurs agréés par eux, enfin aux citoyens. Ces ressources sont inégalement réparties comme le reflète les valeurs du produit intérieur brut (PIB ou GDP en anglais) et de ses taux de croissance (Figure III-6) ou encore celles l'indice de développement humain⁵⁷. L'attribution de droits à certains pour les utiliser le sera également. De même, les rôles et les responsabilités des femmes par rapport à ceux des hommes évoluent mais de profondes inégalités subsistent dans de nombreux territoires.

En considérant les évolutions des empreintes écologiques et des capacités biotiques des pays riverains de la zone sud-ouest de l'océan Indien (Figure III-7), des différences majeures apparaissent entre les pays dont les capacités à produire des services écosystémiques sont très largement dépassées par les besoins de surface

terrestre et aquatique des populations humaines pour assurer la production de ressources et absorber leurs déchets (La Réunion, Les Comores, Maurice, Afrique du Sud, Kenya) et ceux qui disposent encore d'un excédent de capacité biotique (Madagascar et Mozambique). Cependant, ce sont les tendances qui constituent les sources d'inquiétude principales : les capacités biotiques présentent toutes des tendances marquées à la diminution. L'empreinte écologique s'est accrue de façon spectaculaire à La Réunion et à Maurice qui ont les PIB les plus élevés des pays considérés. Elle est relativement stable à Madagascar et au Mozambique et diminue surtout au Kenya.

Il s'agit donc de promouvoir des diagnostics et une gouvernance régionale qui s'appuient sur les principes d'un développement durable adaptés et évolutifs basés d'une part sur l'adéquation entre les capacités d'adaptation et les ressources locales, et d'autre part sur les interactions entre les socio-écosystèmes locaux. Les principes de l'économie verte⁵⁸ aux applications encore limitées dans la région du sud-ouest de l'océan Indien⁵⁹ pourraient y trouver pleinement leur finalité.



PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Transfert des connaissances et renforcement des capacités

Les connaissances actuelles et à venir dans les différents domaines du développement durable sont certainement le bien le plus facile à partager. Cela implique de promouvoir tout à la fois des actions de formation initiale et continue pour favoriser l'acquisition des connaissances de base et celles plus spécialisées dans les domaines du développement durable.

- Comment adapter les programmes d'éducation, d'informations et de formations aux besoins de développement locaux et régionaux ?
- Quels outils pour accueillir des partenaires scientifiques de PMA (pays les moins avancés) dans les communautés scientifiques du Nord ?

- Comment favoriser/intensifier les collaborations régionales en termes de formation, notamment en s'appuyant sur les institutions scientifiques internationales de la région et les grands bailleurs de fonds comme l'Union européenne, la banque mondiale... ?

Mécanismes de réussite et d'échec du développement

De nombreux exemples ont été documentés quant aux succès de certaines politiques nationales de développement. Très peu d'échecs l'ont été. Les causes de ces réussites et de ces échecs sont considérées trop souvent sous des angles disciplinaires (facteurs historiques, facteurs socio-économiques, facteurs environnementaux, facteurs institutionnels, juridiques et de gouvernance⁶⁰). Une approche interdisciplinaire

57. World Bank. 2014. World Development Indicators database. Washington, D.C. <http://data.worldbank.org>.

58. UNEP (2011). Toward a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication. www.unep.org/greeneconomy.

59. <http://www.unep.org/french/greeneconomy/Exemplesderéussites/tabid/78175/Default.aspx>

serait pourtant naturellement la plus à même de produire des modèles explicatifs robustes.

- Quelle est l'origine géographique et administrative des politiques de développement suggérées ?
- Quels sont les parties prenantes, les mécanismes et procédures de décision mobilisés et à partir de quels enjeux ?
- Quels sont les facteurs déterminants des « performances » des politiques de développement en regard des attentes de durabilité et de croissance verte ?
- Quels sont les mécanismes associés à ces facteurs ? Quelle en est la transposabilité sur d'autres socio-écosystèmes et à grande échelle ?
- Comment concilier les intérêts économiques par rapport à des perspectives de développement et à des enjeux de protection de l'environnement : les politiques de tourisme sont-elles compatibles avec les objectifs de transition environnementale ? Quels processus de décision peut-on mobiliser pour favoriser la démocratie environnementale ?

Protection des héritages culturels, des connaissances traditionnelles et des savoir-faire

L'idée de la transmission des héritages culturels et naturels est inhérente à celle du développement durable.

Ces patrimoines sont à l'origine des capacités d'adaptation des populations humaines aux changements de leur environnement naturel, économique et social. À l'échelle de la région, ces patrimoines sont extrêmement diversifiés et leur reconnaissance est souvent secondaire voire inexistante. L'inventaire des connaissances traditionnelles et des savoir-faire demeure très limité et les moyens de protection, notamment d'ordre juridique, restent encore insuffisants. Ils sont soumis au bon vouloir des Etats et des organisations d'intégration régio-

nale⁶¹ d'assurer notamment le respect de leurs engagements internationaux, tel ceux prévus par le protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques.

- Comment protéger les connaissances et savoir-faire traditionnels ?
- Comment les valoriser au mieux en veillant à une répartition juste et équitable des avantages ?

Encourager le développement d'activités offrant plus d'égalité entre hommes et femmes

À l'exemple du développement de modèles d'aquaculture basées sur la diversité biologique, de la mise en place de solutions d'ingénierie écologique (barrière verte, réhabilitation des mangroves) ou encore des organisations basées sur les communautés (community based organisations), il existe des secteurs d'activité en faveur du développement durable dans lesquels les femmes peuvent prendre une place essentielle.

- Quelles sont les activités économiques qui permettent de poursuivre des objectifs de développement durable et qui favorise l'implication des femmes ?
- Quelles sont les raisons associées à un couplage positif entre développement durable et celui de l'implication des femmes ?
- Quelles sont les différences de vulnérabilité aux risques climatiques et les capacités d'adaptation des femmes et des hommes ?
- Existe-t-il des facteurs d'exposition aux risques climatiques différents pour les femmes et les hommes ? quels sont-ils ?
- Quels sont les indicateurs de vulnérabilité aux changements climatiques pour les femmes et pour les hommes ?
- Quels sont les leviers et les obstacles à l'adaptation au changement climatique pour les femmes et les hommes ?

60. Hsiang, S. M., & Meng, K. C. (2015). Tropical economics. *The American Economic Review*, 105(5), 257-261.

61. T. Burelli (2015) L'Union européenne et la mise en oeuvre du protocole de Nagoya. Faut-il se réjouir de l'adoption du règlement 511/2014, *Revue juridique de l'environnement* 2015/3.

Changements globaux

CONTEXTE ET ENJEUX

L'océan Indien *stricto sensu*, même s'il va subir une augmentation de la température de l'eau de mer et de l'air, n'est pas considéré comme un « hot spot » du réchauffement (Figure III-8) ou d'autres menaces globales telle que la diminution en oxygène dissous.

La situation est différente si l'on considère les systèmes continentaux de la zone et notamment les écosystèmes aquatiques dont certains sont considérés comme menacés, que ce soit en termes de ressources pour les populations humaines, ou de biodiversité aquatique (Figure III-9)

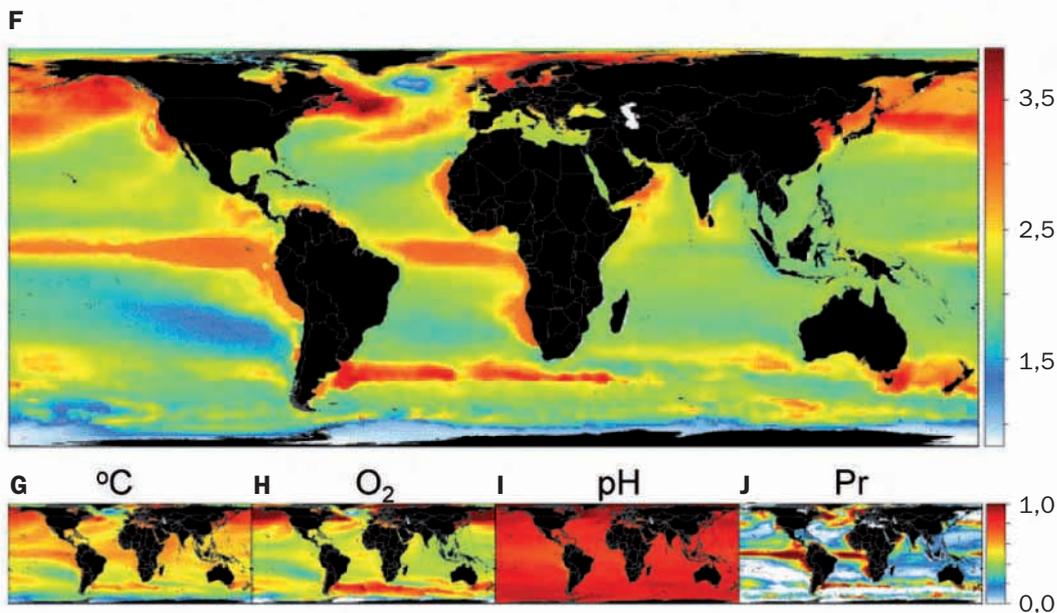


Figure III-8. Effets des changements environnementaux négatifs cumulés (F) sur les écosystèmes marins : température (G), oxygène (H), pH (I) et productivité primaire (J). D'après Mora et al. (2013)⁶²

Au-delà des changements locaux des paramètres environnementaux le réchauffement induit aussi une augmentation du niveau de la mer estimée aujourd'hui de quelques décimètres à plus d'un mètre à l'horizon 2100. Cette hausse du niveau moyen des mers aura des conséquences sur les écosystèmes côtiers, les ressources en eau douce, ainsi que sur les communautés humaines vivant en zone côtière insulaire. Ainsi parmi les îles qui seraient submergées sous différents scénarios d'augmentation du niveau de la mer, l'océan Indien en contient une partie non négligeable avec des conséquences sur la biodiversité (Figure III-10).

Si les changements environnementaux d'origine climatique les plus brutaux ne sont pas atten-

us dans l'océan Indien la pression démographique humaine et ses pressions associées seront très importantes. Ainsi la croissance démographique annuelle sera très forte (parfois supérieure à 2 % comme à Madagascar) dans tous les pays bordant l'océan Indien⁶⁵.

Cette croissance démographique représentera un défi d'autant plus grand que l'océan Indien est l'une des régions où l'utilisation des terres a causé le plus d'érosion de la biodiversité⁶⁶ et où la gestion des ressources halieutiques serait l'une des moins efficace au monde⁶⁷.

62. Mora, C., Wei, C. L., Rollo, A., Amaro, T., Baco, A. R., Billett, D., ... & Gooday, A. J. (2013). Biotic and human vulnerability to projected changes in ocean biogeochemistry over the 21st century. *PLoS Biol*, 11(10), e1001682.

65. Pison G. (2015) Tous les pays du monde. *Population & Sociétés*, 525 : 1-8.

66. Newbold, T., Hudson, L. N., Hill, S. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R. A., ... & Day, J. (2015) Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520, 45-50.

67. Mora, C., Myers, R. A., Coll, M., Libralato, S., Pitcher, T. J., Sumaila, R. U., ... & Worm, B. (2009) Management effectiveness of the world's marine fisheries. *PLoS Biol*, 7(6), e1000131.

Figure III-9. Menaces sur les ressources en eau à destination des besoins des populations humaines (A) ou sur la biodiversité aquatique (B). D'après Vörösmarty et al. 2010⁶³.

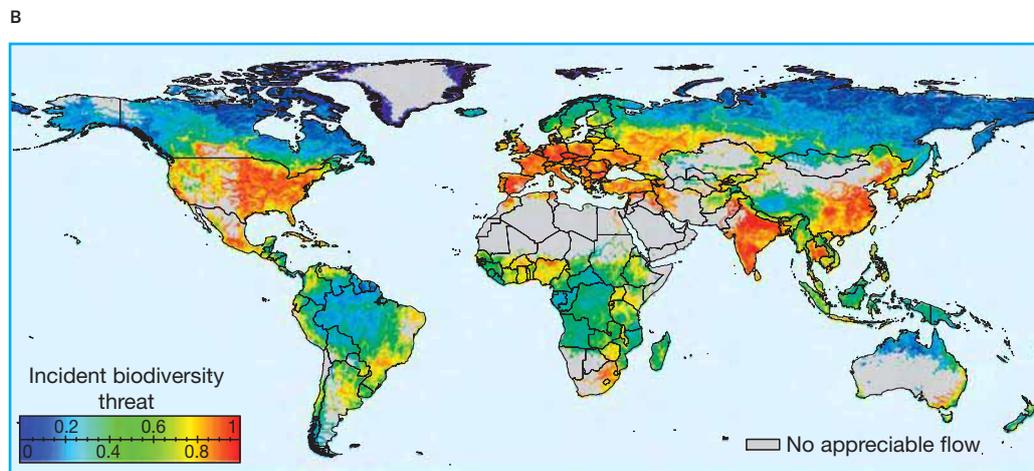
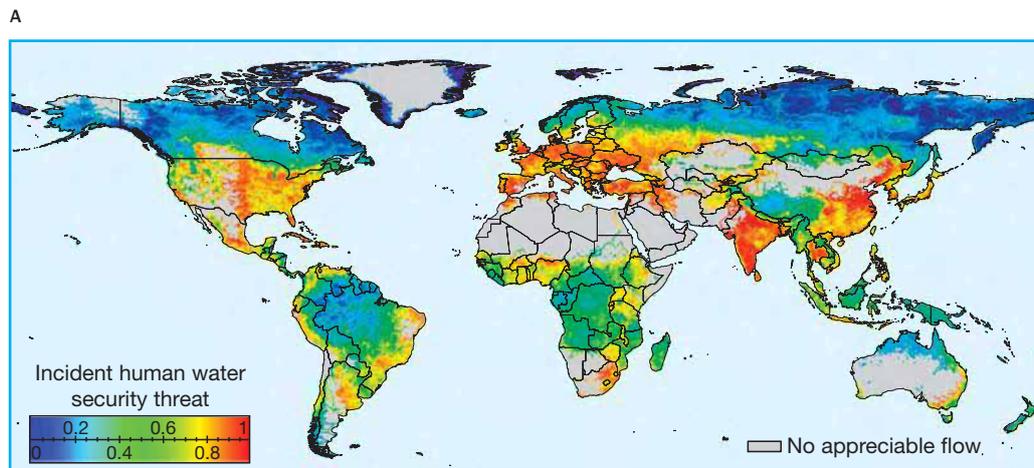
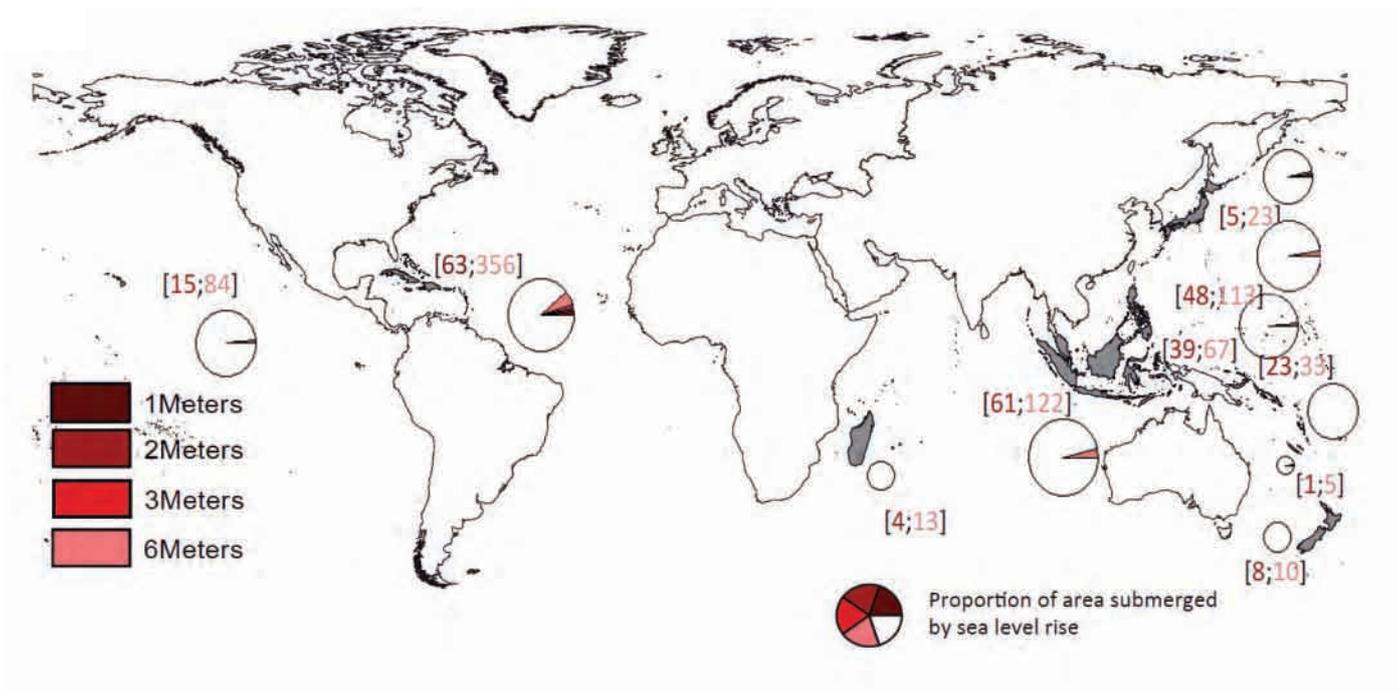


Figure III-10. Pertes potentielles de systèmes insulaires suite à l'augmentation du niveau de la mer. La taille du cercle est proportionnel au nombre d'îles dans la région alors qu'entre crochets ce sont les nombres d'îles submergées pour un niveau de la mer supérieur à 1m et 6m par rapport à l'actuel (D'après Bellard et al. 2014⁶⁴).



63. Vörösmarty, C. J., McIntyre, P.B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., ... & Davies, P.M. (2010) Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555-561.

64. Bellard C., Leclerc C., Courchamp F. (2014) Impact of sea level rise on the 10 insular biodiversity hotspots. *Global Ecol. Biogeogr.* 23 : 203-212.

PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Pressions anthropiques versus changements globaux

Même si certains changements d'origine climatique pourraient se manifester plus lentement ou moins brutalement dans l'océan Indien et si les pressions d'origine anthropique vont inexorablement s'accroître avec la dynamique démographique régionale et locale, c'est la synergie de ces différentes pressions sur les écosystèmes qui devrait constituer la cible des recherches. Mais, l'épuisement des ressources, les épidémies, les vagues de chaleur et les événements climatiques extrêmes constituent aussi, et vont constituer, les germes de crises socio-environnementales dont on ne mesure pas vraiment la portée et les conséquences.

- Quel seront les effets combinés des changements globaux et anthropiques sur les écosystèmes ?
- Quels seront les effets directs et indirects de ces pressions sur les socio-systèmes ?
- Quelles seraient les limites d'habitabilité des zones les plus soumises à ces pressions ?
- Comment la qualification de Petits États insulaires en développement (PEID) à l'échelle de la région peut-elle aider à faire face à ces risques attendus ?

Changements régionaux et locaux

Scénariser et anticiper les changements globaux et leurs effets est un des principaux défis des sciences de l'environnement. Le niveau et l'étendue des changements climatiques sont désormais considérés comme non homogènes à différentes échelles spatiales⁶⁸. Dès lors la principale problématique est d'être capable d'anticiper à différentes échelles y compris locales, ce que seront les amplitudes et la fréquence des événements d'origine climatique.

- Comment cartographier l'intensité et/ou l'étendue des changements environnementaux *sensu lato* et identifier les zones qui seront soumises aux pressions les plus fortes ?

Effets spécifiques et effets globaux

En ce qui concerne les effets des changements d'origine climatique ou anthropiques, on constate que les recherches se focalisent sur des systèmes écologiques ou sociaux spécifiques : les récifs coralliens, les mangroves, le trait de côte, les pêcheries, les systèmes agricoles, les systèmes hydrologiques... avec des attentions de plus en plus marquées pour les systèmes supportant des ressources et plus largement offrant différents services écosystémiques. Cette approche sectorielle oublie que la plupart de ces systèmes sont en interactions. Ainsi un lagon peut abriter tout à la fois des récifs coralliens, des mangroves, des herbiers de macrophytes... (e. g. le lagon de Mayotte ou celui d'Europa) et être en relation avec les bassins versants de l'île qu'il entoure et les populations humaines qui l'habitent. Toute atteinte à l'une ou à plusieurs des composantes des socio-écosystèmes affectera à plus ou moins long terme les autres composantes et les équilibres qui reposent sur leur diversité et leurs interactions.

- Comment estimer les effets des pressions multiples sur les différentes composantes des socio-systèmes et leurs interactions ? Quelle(s) approche(s) doit on privilégier ou proposer ?
- Comment modéliser les effets des pressions multiples sur des territoires en intégrant leurs différentes composantes et leurs interactions ?

Approches combinées « top-down » et « bottom-up » pour des stratégies d'adaptation locales aux changements environnementaux

Lorsqu'il s'agit de définir des stratégies d'adaptation aux changements environnementaux à l'échelle locale comme des bassins versants, deux grandes approches sont utilisées. La première, dites « top-down » consiste à s'appuyer sur des scénarios de « down-scaling » des projections climatiques permettant de générer des entrées dans des modèles de processus locaux comme les modèles hydrologiques et d'estimer les impacts associés pour proposer des mesures d'adaptation. La

68. Selig, E. R., Casey, K. S., & Bruno, J. F. (2010). New insights into global patterns of ocean temperature anomalies: implications for coral reef health and management. *Global Ecology and Biogeography*, 19(3), 397-411.



seconde, dite « *bottom-up* », procède d'une analyse des vulnérabilités et des capacités d'adaptation renseignées à partir d'information recueillies sur le terrain. La combinaison de ces deux types d'approche peut générer des solutions à moindre coût⁶⁹, particulièrement utiles dans les pays à faible PIB. Il existe également des développements algorithmiques

pour identifier les actions prioritaires pour remédier à différentes menaces⁷⁰.

- Peut-on développer ce type d'approche sur des territoires pilotes ?
- Comment prioriser les actions de gestion et de protection ?



69. Girard, C., Pulido-Velazquez, M., Rinaudo, J. D., Pagé, C., & Caballero, Y. (2015). Integrating top-down and bottom-up approaches to design global change adaptation at the river basin scale. *Global Environmental Change*, 34, 132-146.

70. Cattarino, L., Hermoso, V., Carwardine, J., Kennard, M. J., & Linke, S. (2015). Multi-action planning for threat management: a novel approach for the spatial prioritization of conservation actions. *PloS one*, 10(5), e0128027.



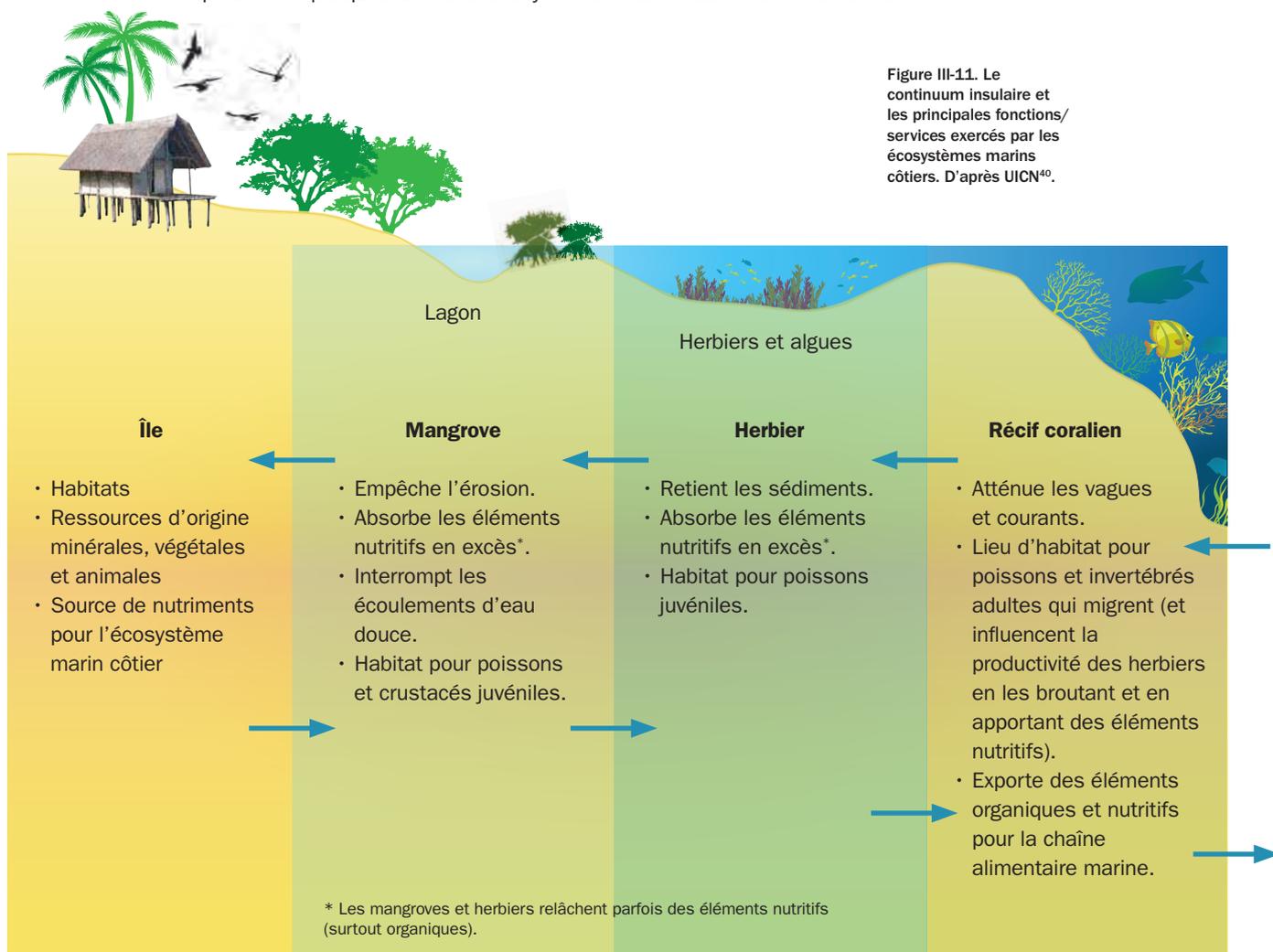
III.4

Ecosystèmes et interactions Homme-milieu remarquables

La zone ouest de l'océan Indien abrite une grande variété d'écosystèmes continentaux et marins ainsi que ceux qui se situent à leur interface (lagons, estuaires, mangroves, lagunes,... cf. Figure III-11). Le « Regional State of the Coast Report : Western Indian Ocean »⁷¹ fait un état des lieux des écosystèmes marins et côtiers les plus importants. On s'y référera avantageusement pour un inventaire détaillé. De même, l'UICN a dressé un inventaire des services écosystémiques rendus par les systèmes marins et côtiers des côtes françaises⁷² intégrant ceux de l'océan Indien. L'objet de cette section est de présenter quelques-uns des écosystèmes sur

lesquels la communauté scientifique a réalisé ou réalise des travaux concernant une problématique du développement durable et les questionnements afférents.

De même, il nous est apparu important de mettre en avant des exemples d'interactions positives entre les hommes et leur environnement. Nous avons choisi de traiter des Aires Protégées *sensu lato* pour souligner que les dynamiques locales et « bottom-up » sont pleines d'intérêt ainsi que des nouvelles formes d'aquaculture qui pourraient se substituer avantageusement aux modèles actuels.



71. UNEP-Nairobi Convention and WIOMSA (2015). The Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean. UNEP and WIOMSA, Nairobi, Kenya, 546 pp.

72. UICN France (2013). Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France - volume 2.2 : les écosystèmes marins et côtiers. Paris, France.

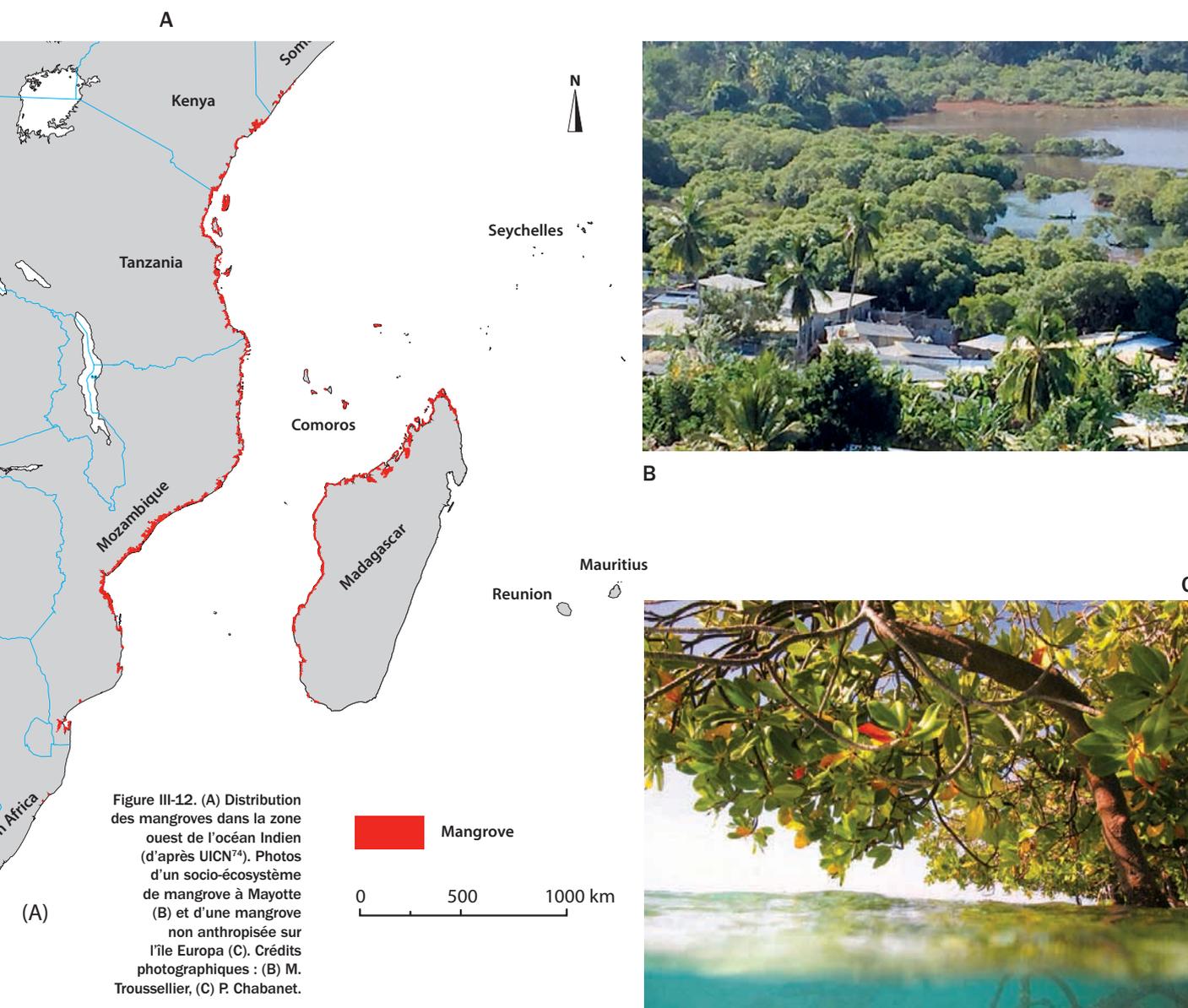
Mangroves

CONTEXTE ET ENJEUX

La zone d'interface côtière abrite notamment des écosystèmes de mangroves qui sont présents sur toutes les côtes des pays de l'ouest de l'océan Indien à l'exception de l'île de La Réunion (Figure III-12). La superficie des mangroves de la zone ouest de l'océan Indien a été estimée à environ 1 million d'ha dont plus de 90 % sont localisées dans quatre pays (Mozambique, Madagascar, Tanzanie et Kenya)⁷³. Les seuls territoires français de la zone, abritant des mangroves sont les îles de Mayotte et d'Europa.

Les prairies de macrophytes marines (herbiers) y sont très souvent associées.

Les mangroves sont emblématiques du paradoxe des systèmes d'interfaces littorales : elles offrent de multiples services aux sociétés humaines qui n'hésitent pourtant pas à les détruire directement notamment pour récupérer les surfaces qu'elles occupent ou indirectement en les laissant se transformer en un lieu de piégeage des rejets issus des activités humaines (urbaines, agricoles, industrielles).



73. Spalding, M., Kainuma, M. and Collins, L. (2010) World Atlas of Mangroves . The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan.

74. UNEP-Nairobi Convention and WIOMSA (2015) The Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean. UNEP and WIOMSA, Nairobi, Kenya, 546 pp.

PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Biodiversité et fonctions

Les écosystèmes de mangroves sont reconnus comme abritant une très forte diversité d'habitats et d'espèces⁷⁵, y compris terrestres⁷⁶. Parmi ces espèces, certaines ont développé des capacités adaptatives remarquables en regard des variations environnementales naturelles auxquelles sont exposées les mangroves⁷⁷. Les mangroves font partie des écosystèmes côtiers les plus productifs de la planète (jusqu'à 1 kgC.m⁻²an⁻¹), mais le devenir de cette production fait encore l'objet de débat⁷⁸. On considère par ailleurs que 10 à 15 % du carbone des océans est lié à la présence des mangroves sur leurs littoraux. La question de la complémentarité fonctionnelle et de la connectivité avec les autres habitats a été posée et abordée dans d'autres régions côtières⁷⁹ mais, à notre connaissance, n'a pas été traitée dans la zone ouest de l'océan Indien.

- Quelles sont les capacités de résistance et de résilience des mangroves, et des espèces qui y sont associées, aux stress naturels et anthropiques ? Quels mécanismes écophysiologiques adaptatifs sont mis en œuvre ?
- Quelle relation existe-il entre le niveau de biodiversité des mangroves et celui des pressions anthropiques à l'échelle de la région et à des échelles locales ?
- Quels sont les principaux facteurs de diminution ou d'augmentation des surfaces des mangroves ?
- Quel est le rôle de la mangrove dans la bioremédiation des eaux polluées, dans la rétention des apports terrigènes ?

- Quel est le niveau de connectivité pour les espèces marines entre les mangroves, estuaires et zones côtières ?

Les services rendus et les menaces

Ils sont multiples⁸⁰ et tiennent notamment dans la complexité générée à différentes échelles d'organisation par les palétuviers. Les systèmes racinaires des arbres constituent tout à la fois des systèmes de freins hydrauliques et des niches écologiques multiples pour les macroorganismes et les microorganismes. Les premiers sont à l'origine des capacités de rétention des apports terrigènes et les seconds supportent une diversité biologique importante, originale et méconnue ainsi que les fonctions biogéochimiques permettant de transformer les apports continentaux et les déchets végétaux et de gérer les flux de nutriments qui en sont issus. Les mangroves sont des écosystèmes très productifs et peuvent fournir aux populations locales des ressources multiples (poissons, crevettes, bois de construction et de chauffage). Leur valeur écosystémique a été estimée de 2000 à 9000 dollars/ha/an⁸¹. Leur rôle notamment de puits de carbone est documenté et confirmé par plusieurs études récentes.

Parmi les changements issus du réchauffement climatique, l'élévation du niveau des mers est la menace la plus sensible⁸². Elle concerne surtout les côtes pour lesquelles des solutions de « repli » de la mangrove ne sont pas possibles. Mais les menaces les plus immédiates sont celles des aménagements réalisés pour « gagner » des espaces de développement urbain, de loisir ou économiques (ports, routes littorales, aquaculture,...) ou encore les rejets des activités humaines qui en s'accumulent peuvent



75. Nagelkerken, I., Blaber, S. J. M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L. G., ... & Somerfield, P. J. (2008) The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. *Aquatic Botany*, 89(2), 155-185.

76. Rog, S. M., Clarke, R. H., & Cook, C. N. (2016) More than marine: revealing the critical importance of mangrove ecosystems for terrestrial vertebrates. *Diversity and Distributions*. 1-10.

77. Lambs, L., Mangion, P., Mougin, E., & Fromard, F. (2016) Water cycle and salinity dynamics in the mangrove forests of Europa and Juan de Nova Islands, southwest Indian Ocean. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 30(2), 311-320.

78. Hyndes, G. A., Nagelkerken, I., McLeod, R. J., Connolly, R. M., Lavery, P. S., & Vanderklift, M. A. (2014) Mechanisms and ecological role of carbon transfer within coastal seascapes. *Biological Reviews*, 89(1), 232-254.

79. Serafy, J. E., Shideler, G. S., Araújo, R. J., & Nagelkerken, I. (2015) Mangroves Enhance Reef Fish Abundance at the Caribbean Regional Scale. *PloS one*, 10(11), e0142022.

80. Lee, S. Y., Primavera, J. H., Dahdouh Guebas, F., McKee, K., Bosire, J. O., Cannicci, S., ... & Mendelsohn, I. (2014) Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global Ecology and Biogeography*, 23(7), 726-743.

81. Spalding, M., Kainuma, M. and Collins, L. (2010) *World Atlas of Mangroves*. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan.

82. Gilman E.L., Ellison J., Duke N.C., Field C. (2008) Threats to mangrove from climate change and adaptation options: a review. *Aquatic Botany*, 89 : 237-250.

directement ou indirectement « empoisonner » les palétuviers ou la faune avec laquelle ils sont en interaction permanente.

- **Les proximités croissantes entre les mangroves et les populations humaines débouchent généralement sur une destruction de ces écosystèmes. Est-il possible de concevoir de véritables SES où les populations humaines et les mangroves s'inscrivent dans des interactions positives ? Est-ce que de tels SES existent ?**
- **Dans quelle mesure l'évaluation des services rendus par les mangroves peut-elle être mieux prise en compte en amont des décisions d'aménagement ?**
- **Parmi les services rendus par les mangroves, certains d'entre eux pourraient-ils être intensifiés ? Certaines fonctions pourraient-elles être « copiées » pour proposer des solutions bio-inspirées pour la protection des littoraux ?**
- **Quelles sont les conséquences de la disparition des mangroves sur les écosystèmes lagunaire et insulaire, lagunaire et côtier ?**
- **Quelles actions (information, éducation, expérimentation,...) seraient à développer pour mieux faire connaître et donc valoriser les services écosystémiques, sociétaux, rendus par la mangrove ?**

La restauration des mangroves

Les zones où les mangroves ont disparu peuvent être recolonisées naturellement pour autant que les causes de la disparition soient supprimées et que la connectivité avec des mangroves existantes soit possible ou facilitée ou encore que des replantations soient réalisées⁸³. De très nombreuses initiatives de protection/restauration de mangroves ont eu lieu dans l'océan Indien essentiellement pour « retrouver » une protection naturelle contre les effets dévastateurs des tsunamis, mais ce avec des fortunes diverses⁸⁴. Parmi les recommandations relatives à la restauration de ces écosystèmes formulées, il est mentionné que les actions de restauration doivent se concevoir dans un contexte de gestion intégrée incluant celle des systèmes amonts (bassins-versant), des

systèmes marins et des populations humaines adjacents. Le succès dépend également du respect des savoirs traditionnels et des liens culturels que les populations ont avec la mangrove, de leur implication dans les projets, notamment dans le suivi, et de l'accompagnement qui peut en être fait en termes de formation, en particulier pour les plus jeunes. Ceci dit, les plantations de palétuviers – souvent monospécifiques, faites à partir de populations, ou même d'espèces, étrangères aux sites replantés – sont souvent vouées à l'échec et l'on se dirige de plus en plus vers des actions de facilitation de la régénération naturelle, peut être plus lente au départ, mais plus efficace à moyen terme⁸⁵.

- **Comment identifier les sites nécessitant et pouvant bénéficier d'une action de restauration ?**
- **Quelles actions urgentes de restauration de mangroves appuyées sur des politiques de protection dédiée sont envisageables ?**
- **Quels sont les statuts juridiques des mangroves et faut-il en envisager d'en instituer dans les droits des Etats qui n'en disposent pas ? Quels mécanismes spatio-temporels de protection juridique faut-il renforcer ou mettre en place dans les aires marines protégées et/ou en dehors ? Quels dispositifs de gouvernance multi-niveaux et de renforcement des capacités des acteurs sont à renforcer ou à instituer ? Quels financements innovants convient-il de promouvoir ?**
- **Quelles collaborations locales et régionales peut-on développer pour bénéficier des expériences de restauration réussies ? Comment éviter les échecs des plans de reboisement massifs et coûteux au profit d'actions de réhabilitation locales ?**
- **Comment impliquer les populations étudiantes, les associations, dans des actions de sensibilisation/formation locales en s'affranchissant de la barrière des langues ?**
- **Comment développer des actions de facilitation de la régénération de la mangrove, ou des actions de réhabilitation à partir de populations autochtones de palétuviers ?**

83. Dutrieux, E., Proisy, C., Fromard, F., Walcker, R., Ilman, M., Pawlowski, F., ... & Ponthieux, O. (2014) Mangrove Restoration in the Vicinity of Oil and Gas Facilities: Lessons Learned From a Large-Scale Project. In SPE International Conference on Health, Safety, and Environment. Society of Petroleum Engineers.

84. Macintosh, D. J., Mahindapala, R., & Markopoulos, M. (2012) Sharing lessons on mangrove restoration. Bangkok, Thailand: Mangroves for the Future and Gland, Switzerland: IUCN.

85. <https://www.wetlands.org/publications/mangrove-restoration-to-plant-or-not-to-plant/>



Récifs coralliens

CONTEXTE ET ENJEUX

Les récifs coralliens sont des écosystèmes de fonds marins peu profonds de la zone intertropicale. Ces formations gigantesques sont bâties par les coraux constructeurs de récifs (ou Scléroractiniaires), fruits de la symbiose entre un animal (le polype) et des algues unicellulaires (les zooxanthelles). Ils sont adaptés à un environnement bien défini : température des eaux de surface comprise entre 20 et 30° C, éclairage suffisant pour permettre la photosynthèse, profondeur faible (variable en fonction de la transparence des eaux), turbidité peu élevée, salinité de 30 à 40, substrat stable pour permettre la fixation de l'animal. Si des variations de ces paramètres interviennent, il y aura rupture de la symbiose et expulsion des zooxanthelles, ce qui provoque le phénomène de blanchissement corallien qui peut être localisé ou étendu à grande échelle (blanchissement massif).

Ce sont certainement les systèmes écologiques les plus étudiés et les mieux connus à l'échelle régionale. Bien que l'échantillonnage soit relativement faible par rapport à d'autres régions océaniques, ce sont près de 2000 espèces de poissons récifaux et près de 400 espèces de coraux qui ont été reportées pour la zone ouest de l'océan Indien⁸⁶. Les travaux récents⁸⁷ ont permis de montrer que la zone nord du canal du Mozambique est vraisemblablement le second pic mondial de biodiversité

marine après le triangle de corail. Une autre caractéristique remarquable est le très fort taux d'endémisme rencontré notamment sur le plateau des Mascareignes, comparable à celui estimé dans le Pacifique Est (Hawaii, Galapagos, Pitcairn islands)⁸⁸. La zone ouest de l'océan Indien est, à ce titre, comparée à un musée des espèces de coraux originaires de la mer de Thétis, il y a 30 à 50 millions d'années⁸⁹.

Les écosystèmes coralliens sont présents dans tout l'océan Indien là où il y a du substrat rocheux entre 0 et 50 m et des eaux claires et de bonne qualité qui permettent à l'activité symbiotique entre le polype et les zooxanthelles de se faire. La distribution des récifs coralliens est relativement bien connue. On trouve dans l'océan Indien 4 classes de récifs : (1) des récifs frangeants autour des îles océaniques et le long de la côte africaine, (2) des barrières récifales développées au sud de Madagascar (Tuléar) et à Mayotte (qui possède aussi une double barrière à l'intérieur du lagon, phénomène observé très rarement dans le monde), (3) des atolls trouvés aux Seychelles (ex. Aldabra, Cosmoledo) et dans le canal du Mozambique (ex. Europa, Bassas, bancs de Geyser et Zéléé) et (4) des nombreux bancs coralliens (ex. Leven, Castor, nord-ouest de Madagascar, Mozambique) et océaniques (plateau des Mascareignes et nord des Seychelles).

86. IUCN (2013). IUCN Red List of Species. <http://www.iucnredlist.org>

87. Obura, D.O. (2012) The Diversity and Biogeography of Western Indian Ocean Reef-Building Corals. *PLoS ONE* 7, e45013.

88. Randall, J.E. (1998) Zoogeography of shore fishes of the Indo-Pacific region. *Zoo. Stud.* 37, 227–268.

89. Obura, D. O. (2015) An Indian Ocean centre of origin revisited: Palaeogene and Neogene influences defining a biogeographic realm. *Journal of Biogeography*. DOI: 10.1111/jbi.12656.

Un inventaire des récifs corallien a été réalisé à l'échelle mondiale dans le cadre du *Millennium Coral Reef Mapping* en utilisant l'imagerie satellite à haute résolution. Une cartographie des récifs de la région océan Indien intégrant Madagascar et les îles de l'océan Indien ouest et central (Laccadives, Maldives, Territoire britannique de l'océan Indien, Maurice, Seychelles, La Réunion, Îles Éparses, Mayotte, Comores) a été effectuée (Figure III-13). L'inventaire a mis en évidence :

(1) une diversité de classes importante représentant un peu plus de 25 % de la diversité géomorphologique mondiale (212 classes d'unités géomorphologiques), Madagascar contribuant largement à la diversité des unités récifales avec ses 86 classes continentales et les systèmes récifaux situés dans la ZEE des Seychelles et de Maurice sont avec 54 et 53 classes respectivement couvrant à la fois des îles hautes, atolls et bancs récifaux,

(2) une étendue d'environ 20 440 km² de surface récifale, dont 5000 et 5400 km² pour Madagascar et les Seychelles, et 2700 et 2850 km² pour les Maldives et Territoire britannique de l'océan Indien,

(3) une étendue de 81500 km² de surface non récifale (principalement lagons et terrasses sédimentaires ou construites) dont > 42800 km² pour les Seychelles et > 18460 km² pour les Maldives.

La cartographie des récifs associés au continent africain n'a pas été encore validée suite à des limitations technologiques, les récifs étant le plus souvent étroits avec un niveau élevé d'apports terrigènes, ce qui induit des erreurs dans l'analyse des images satellites (forte turbidité).

Figure III-13 - Récifs coralliens de l'océan Indien Ouest et Central (Andrefouët et al. 2009⁹⁰)



90. Andrefouët S., Chagnaud N., Kranenburg CJ. (2009) Atlas des récifs coralliens de l'océan Indien Ouest, Centre IRD de Nouméa, Nouvelle-Calédonie, Août 2009, 157 pages.

PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Services rendus et menaces

Les récifs coralliens faisant partie des écosystèmes les plus diversifiés et productifs de la planète, ils sont le support de nombreux services dont dépendent très fortement les communautés insulaires et côtières. La biodiversité des récifs coralliens est un support de services écosystémiques notamment à travers (1) l'habitat offert par les récifs dans les cycles naturels notamment dans le cycle du carbone, (2) les supports de services tels que les services de régulation (ex. effet tampon pour le climat via les stockage du CO₂, limitation impact des cyclones et houles, et donc érosion côtière, via barrières récifales), les services d'approvisionnement (pêche vivrière pour près 1 milliard individus), ainsi que les services socio-économiques et culturels (ex. pêche, tourisme, pharmacopée). Les services rendus par les écosystèmes coralliens dans l'océan Indien occidental ont été estimées à plus de 7 milliards \$ US par an (Obura *et al.* in press). Ainsi la biodiversité peut être ainsi un moteur pour la croissance bleue. A titre de comparaison, la valeur des services rendus par les écosystèmes coralliens des 9 territoires de l'outre-mer français est estimée à 1,3 milliards d'euros par an, les principaux services rendus en terme économique étant la protection contre les inondations côtières, le tourisme bleu, la production de biomasse pour la pêche et la séquestration du carbone (Pascal *et al.* 2016⁹¹). Autre exemple, la

Grande Barrière de corail en Australie rapporte à elle seule 1 milliard d'euros/an.

Il est essentiel de faire valoir la diversité et les bénéfiques des services rendus par les écosystèmes coralliens aux échelles locales et globales pour que les populations et les différents niveaux d'organisation et de gestion des territoires augmentent leur implication dans la mise en valeur, la protection et la valorisation durable des services rendus par les systèmes coralliens. Les services rendus par l'écosystème corallien dépendent en grande partie de l'état des récifs. Il est donc essentiel pour les politiques de développement économique des pays de prendre en compte la valeur économique des services rendus par les récifs coralliens et de suivre leur état de santé en parallèle dans le cadre de programmes de monitoring sur le long terme (ex. *Global Coral Reef Monitoring* ou *GCRMN*).

De multiples facteurs ont été identifiés comme ayant des effets négatifs sur l'état de santé des systèmes coralliens et se regroupent en deux grandes catégories (Figure III-14) : (1) les pressions anthropiques locales (l'exploitation des ressources notamment les activités de pêche, les pollutions urbaines, les apports terrigènes, le développement des zones côtières et des activités touristiques) et (2) les pressions liées aux changements globaux (l'accroissement des températures, la montée des eaux, l'acidifica-



Figure III-14. Illustration de menaces sur les écosystèmes coralliens : (A) Apport terrigène par un fleuve côtier de Madagascar, (B) coraux blanchis à Mayotte à la suite d'une élévation de la température des eaux, (C) coraux détruits par une tempête sur les récifs de La Réunion. Crédits photographiques : (A) M. Troussellier, (B) et (C) J. Wickel.

91. Pascal N., Leport G., Allenbach M., Marchand C. (2016) Valeur écosystémiques des services rendus par les récifs coralliens et écosystèmes associés des Outre-mer français. Rapport technique IFRECOR, 56 pages.

tion ou encore les événements météorologiques extrêmes...) causant la mortalité massive des coraux support de l'habitat en milieu corallien.

Une double problématique est associée à ces menaces. Les premières pressions sont reliées très directement à l'accroissement des populations humaines et au développement économique dans un contexte de régulation des impacts qui reste limité. Les secondes trouvent leur origine dans les activités humaines planétaires et ne peuvent être que subies.

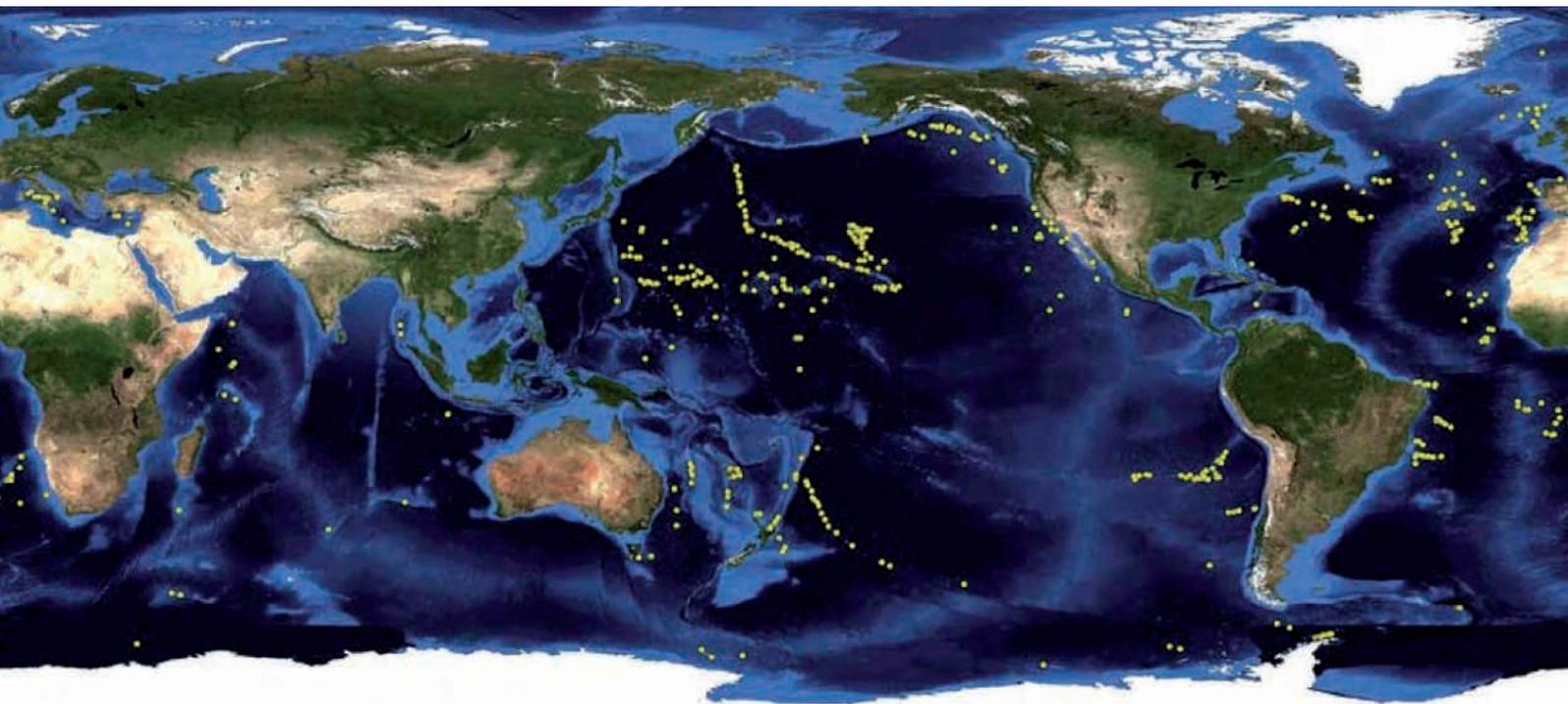
Face à ces menaces, de nombreuses aires marines protégées ont été mises en place comme outil pour permettre une gestion durable des ressources et des pêcheries récifales, restaurer les écosystèmes dégradés et conserver la biodiversité. Il est important d'accroître l'efficacité de ces AMP via un réseau d'aires marines protégées (AMP) interconnectées. Les pressions (naturelles et/ou anthropiques) étant amenées à s'intensifier dans les années à venir, la résilience des écosystèmes coralliens face à ces pressions doit être suivie via les observatoires et programmes de monitoring sur le long terme. Mieux comprendre comment les récifs et les systèmes marins se reconstituent après impacts pour maintenir les services écosystémiques implique des approches interdisciplinaires associant sciences biologiques (biologie des populations, physiologie et résistance au stress, dynamique de récupération, perturbation de la reproduction, écologie...) et sciences sociales (géographie, anthropologie, sociologie, droit du littoral et de l'environnement...).

Si les diversités des macroorganismes des systèmes coralliens de l'océan Indien sont relativement bien connues, plusieurs « inconnues » demeurent notamment sur la faune cryptique et les communautés planctoniques. Des problèmes de taxonomie apparaissent même pour les groupes les plus étudiés comme les coraux et les poissons avec les progrès de la génétique et techniques associées.

- Quelle est la diversité des communautés de microorganismes libres ou associés aux systèmes coralliens de l'océan Indien et plus généralement aux invertébrés, leurs dynamiques et leurs rôles dans l'état de santé des coraux ?
- Quelle est la diversité des coraux Scléractinaires revue avec les techniques moléculaires ?

Lorsque l'on considère les récifs coralliens en tant que système écologique, on peut identifier plusieurs questions auxquelles on ne peut répondre que par un renforcement des collaborations interdisciplinaires :

- Quel(s) modèle(s) quantitatif(s) peut-on mettre en œuvre prenant en compte les différentes variables de contrôle de la structure et du fonctionnement des communautés coralliennes et permettant de simuler des scénarios d'évolution intégrant des pressions multiples ?
- Quels modèles courantologiques peut-on mettre en œuvre pour analyser les connectivités entre populations ainsi que leurs processus ? Ce qui implique de développer des modèles à fine échelle et de continuer à améliorer les connaissances sur les cycles biologiques des espèces.
- Comment développer des scénarios de planification spatiale en intégrant des données les plus complètes possibles (habitats, caractéristiques biologiques des espèces, connectivités, activités/pressions, prévisions d'impacts...) pour mettre en place des plans de conservation pertinents et anticiper au mieux les conséquences des impacts attendus ?
- Quelle est la résilience des systèmes coralliens de l'océan Indien en regard des gradients de pressions anthropiques et climatiques ?
- Est-ce que les systèmes de protection sont efficaces ? Quels sont ceux qui fonctionnent mieux et ceux qui fonctionnent moins bien ?
- Les récifs coralliens doivent-ils bénéficier d'un statut juridique particulier de manière à en assurer une protection ciblée ? Quels mécanismes spatio-temporels de protection juridique faut-il renforcer ou mettre en place dans les aires marines protégées et/ou en dehors ? Quels dispositifs de gouvernance multi-niveaux et de renforcement des capacités des acteurs ? Quels financements innovants convient-il de promouvoir ? (paiements pour services environnementaux...)?
- Comment renforcer les capacités d'adaptation de ces écosystèmes ? Quelles sont les approches d'ingénierie écologique possibles et leurs efficacités respectives pour réhabiliter les systèmes coralliens impactés ?



Monts sous-marins

CONTEXTE ET ENJEUX

Plus de 100 000 monts (≥ 1000 m d'altitude), monticules (500-1000 m d'altitude) et collines (< 500 m d'altitude) sous-marins ont été recensés dans les océans⁹². La littérature utilise le terme mont sous-marins pour ces trois types de structure qui partagent des caractéristiques environnementales proches. Les plus élevés de ces écosystèmes ont une origine volcanique et sont donc associés aux « hot spots » d'activités volcaniques sous-marines comme les rides. Dans la zone ouest de l'océan Indien, le nombre de monts sous-marins *sensu lato* a été estimé à 13 205 pour une superficie de 6 840 755 km².

L'écologie et la biogéochimie des monts sous-marins n'est à ce jour que peu comprise et explorée, mais ils sont considérés comme des écosystèmes originaux de par la structure et les biomasses des communautés pélagiques et benthiques qu'ils abritent⁹³. À grande échelle, de fortes biomasses et abondances de prédateurs marins et de poissons démersaux y sont observées, qui font l'objet d'exploitation commerciale. Les effondrements de stock des poissons exploi-

tés sur les monts sous-marins sont de plus en plus fréquemment reportés notamment en raison de la vulnérabilité des espèces en question. L'origine de la richesse biologique des monts sous-marins provient de plusieurs causes : remontées hydrothermales, remontées d'eau froides riches en nutriments, habitats benthiques...

Ces écosystèmes sont aussi le lieu privilégié de développement d'encroutements riches en minéraux et en terres rares du fait des conditions de courants élevées et de faibles taux de sédimentation. Ils sont donc des cibles potentielles d'exploitation minières.

Seul un nombre très limité de ces « oasis » marines font partie d'une aire marine protégée au sens strict et administratif du terme, ce qui suppose leur localisation comprise entre la côte et la limite extérieure de la ZEE d'un État. La biodiversité de ces écosystèmes n'a fait l'objet que d'inventaires limités dans l'océan Indien⁹⁴ (Figure III-15) et leur rôle dans la connectivité biologique des océans ou dans l'endémisme est en grande partie méconnu.

Figure III-15.
Distribution spatiale des monts sous-marins ayant fait l'objet d'un échantillonnage biologique ou géologique. D'après Miloslavich *et al.* (2016)⁹⁴.

92. Yesson, C., Clark, M. R., Taylor, M. L., & Rogers, A. D. (2011) The global distribution of seamounts based on 30 arc seconds bathymetry data. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 58(4), 442-453.

93. Djurhuus, A., Read, J. F., & Rogers, A. D. (2015) The spatial distribution of particulate organic carbon and microorganisms on seamounts of the South West Indian Ridge. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2015.11.015>

94. Miloslavich, P., Webb, T., Snelgrove, P., Berghe, E. V., Kaschner, K., Halpin, P.N., ... & Dulvy, N. (2016) Extent of Assessment of Marine Biological Diversity. In : *First global integrated marine assessment*. United Nations. http://www.un.org/depts/los/global_reporting/WOA_RegProcess.htm

Des projets conséquents à l'échelle régionale ont été récemment soutenus par le Fond Français pour l'Environnement Mondial, l'UICN/HFAO, l'IDDRI et l'Université d'Oxford⁹⁵, l'IRD, le MNHN et l'Ifremer. Ces projets ont un aspect pluridisciplinaire nouveau impliquant l'océanographie physique et le droit de la mer, à côté de l'écologie des espèces et des écosystèmes.

Dans ce contexte, des objectifs spécifiques ont été identifiés comme correspondant à des besoins en zone océan Indien :

- faire progresser l'état des connaissances sur les écosystèmes marins profonds associés aux monts sous-marins et aux sources hydrothermales, et leurs relations avec les populations de poissons locales et régionales, afin de documenter le lien entre les écosystèmes côtiers et océaniques des zones au-delà de la juridiction nationale (ZAJN), de manière à accroître la par-

ticipation des Etats côtiers dans la gouvernance de la haute mer ;

- améliorer et renforcer le cadre de gouvernance pour la gestion des stocks de poissons associés aux écosystèmes des grands fonds, y compris la surveillance et le contrôle des activités de pêche ;
- développer des cadres de gouvernance pour la conservation de la biodiversité et la préservation des différents types d'habitats, en particulier en ce qui concerne les explorations et extractions et minières ;
- proposer des mesures de conservation et de gestion rationnelle des écosystèmes profonds dans les ZAJN, en particulier pour la création de réseaux d'Aires Marines Protégées (AMPs) ;
- sensibiliser et informer les décideurs politiques, les industries de la pêche et de l'exploitation minière, et le grand public sur l'importance de préserver la vie marine profonde.



PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Les connaissances sur ces écosystèmes sont très fragmentaires, notamment dans la zone ouest de l'océan Indien et le sud de celui-ci. Les menaces d'exploitation des ressources biologiques par la pêche et des ressources minérales par l'extraction minière sont fortes, ce qui implique de développer la connaissance de ces écosystèmes pour informer et aider à la définition de stratégies de protection. Des contenus de connaissance sont parfois disponibles et dispersés mais émanent de groupes professionnels comme les pêcheurs en eaux profondes sur monts sous-marins par exemple, sans provenir d'organismes de recherches. Ceci rend l'accès à ces données, leur disponibilité ou parfois leur robustesse, plus aléatoires.

- **Quelle stratégie d'échantillonnage proposer pour obtenir une image représentative des caractéristiques géophysiques et écologiques des monts sous-marins de l'océan Indien ?**

- **Quels sont leurs rôles dans le maintien de la diversité pélagique et benthique de l'océan Indien, dans les phénomènes de connectivité et de dispersion des organismes marins ?**

- **Comment passer de la connaissance naturaliste de ces écosystèmes à leur insertion dans des nomenclatures de désignation de zones de protection (ZIEB/ EBSA notamment) ?**

- **Comment contrôler ces activités et les encadrer pour contenir les impacts des activités humaines d'extraction halieutiques et surtout minières sur ces écosystèmes ?**

- **Doit-on étendre les aires marines protégées à ces écosystèmes ? Si oui, comment le faire de façon efficace et légale sinon quels autres outils pour protéger des zones sensibles en dehors des juridictions nationales (e.g. Walter Shoals 33° 12' S – 43° 50' E) dans l'attente de l'adoption d'un accord international universel en cours de négociation ?**

95. http://www.ffem.fr/accueil/FFEM/projets/projets_ffem-par-secteur/Projets-eaux-internationales/2013-CZZ1890-Monts-sous-marins-Ocean-Indien

Îles Éparses

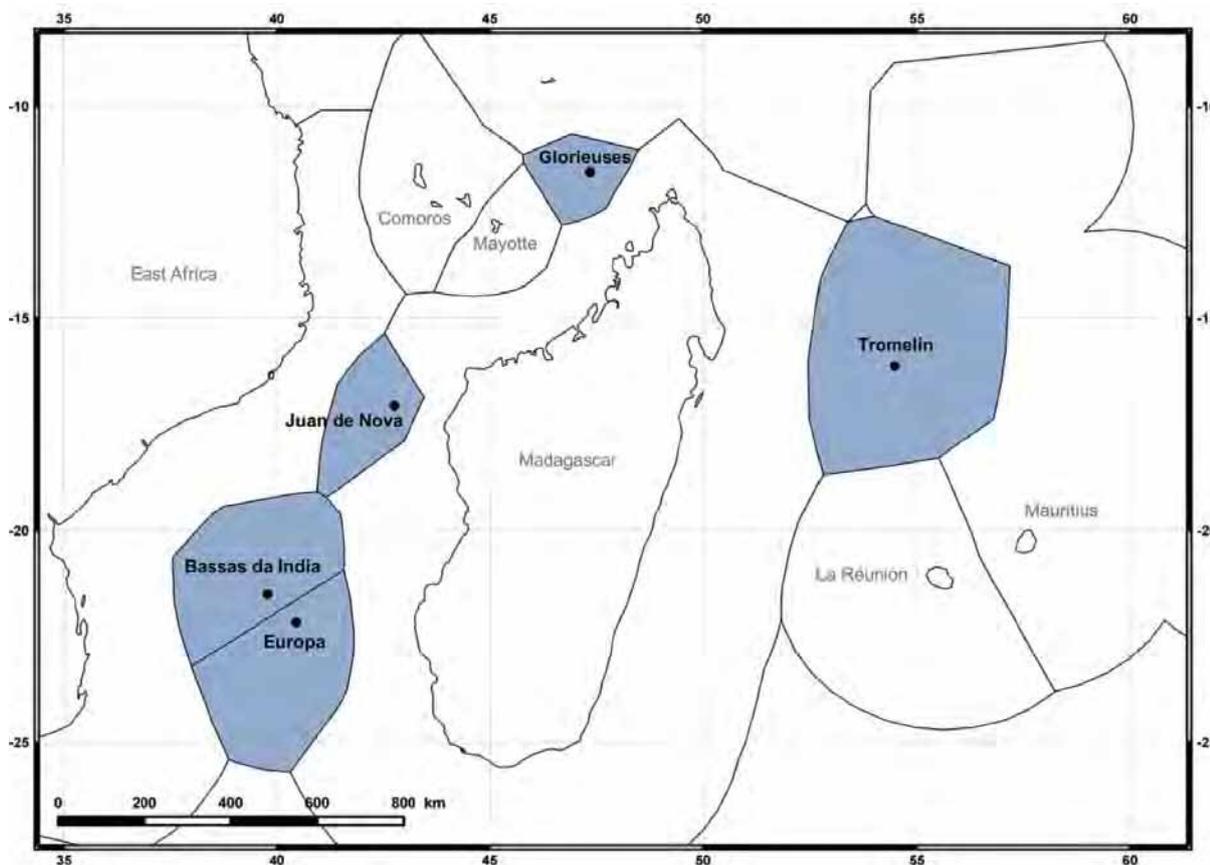
CONTEXTE ET ENJEUX

Les Îles Éparses sont depuis 2007 (loi n° 2007-224 du 21 février 2007) intégrées aux Terres australes et antarctiques françaises (Taaf) dont elles constituent le 5^e district. Elles se situent en milieu tropical, au nord de La Réunion pour Tromelin et dans le canal du Mozambique pour les Glorieuses, Juan de Nova, Bassas da India et Europa (Figure III-16).

Un programme inter-organismes « Îles Éparses » (2011-2014) a permis de développer un corpus de données et de connaissances sur ces écosystèmes pour décrire leurs composantes et leurs diversités, leurs dynamiques passées et actuelles et leurs déterminants. Il a permis de

soutenir 18 projets de recherche dans différents domaines allant de la géophysique à l'étude de la biodiversité des communautés animales, végétales et microbiennes des milieux marins et terrestres des Îles Éparses⁹⁶. Ces travaux ont donné lieu à plus de 60 publications dans des revues internationales et ont été exposés lors d'un colloque les 28 et 29 avril 2014. Ce premier programme a notamment permis de mettre en exergue le statut d'écosystèmes de référence des Îles Éparses en regard de leur exceptionnelle biodiversité soumise à de très faibles pressions anthropiques et comme observatoire privilégié des changements environnementaux d'origine climatique passés et présents.

Figure III-16. Localisation des Îles Éparses et ZEE associées.



96. Quézel, C., Marinesque, S., Ringler, D., Fillinger, L., Changeux, T., Marteau, C., & Troussellier, M. (2016) Îles Éparses (SW Indian Ocean) as reference ecosystems for environmental research. *Acta Oecologica*, 72,1-8.

PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Un « observatoire » des effets des changements d'origine climatique.

Du fait du peu d'activités anthropiques qui y prennent place, les Îles Éparses offrent l'opportunité d'organiser un observatoire multidisciplinaire de l'évolution des changements climatiques directs et indirects et de leurs effets sur des systèmes insulaires et marins.

- Sur le plan géologique et géophysique, ces îles s'avèrent des observatoires remarquables de l'évolution du niveau des mers passés et actuels en l'absence d'une anthropisation significative. La perte de surface insulaire face à l'accroissement du niveau des mers est-elle systématique ? Des systèmes insulaires coralliens non anthropisés peuvent-ils présenter des mécanismes de compensation à l'érosion littorale ?
- Comment les communautés et populations animales, végétales et microbiennes des habitats terrestres et marins répondent-elles aux changements environnementaux d'origine climatique ?

Un « laboratoire » de recherche sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes « pristines » actuels

Les Îles Éparses font parties des rares systèmes insulaires de l'océan Indien où la diversité des communautés et l'état de santé des populations qui les composent peuvent être considérés comme peu ou pas impactées par l'homme. Outre les références qu'elles offrent pour définir des objectifs de conservation ou de

reconquête de la biodiversité, elles permettent d'aborder de nombreuses questions fondamentales en particulier dans un contexte de changement climatique.

- Comment se maintient la forte diversité biologique des Îles Éparses ? Quels sont ou seront les conséquences de l'évolution de la diversité biologique sur le fonctionnement des écosystèmes des Îles Éparses ou les services écosystémiques associés ?
- Quels rôles jouent ces très petits territoires vis-à-vis des migrations actuelles et passées des espèces marines et terrestres à l'échelle régionale ? Est-ce que les Îles Éparses constituent non seulement un réservoir mais aussi une source de biodiversité pour les territoires adjacents ?
- Quelle est l'importance fonctionnelle des espèces rares dans les systèmes terrestres et marins des Îles Éparses ? Quels sont les rôles du changement climatique et des événements stochastiques dans les processus de raréfaction voire d'extinction d'espèces présentes dans les Îles Éparses (effet Alle, etc.) ?
- Comment fonctionne un système sans pression humaine significative ? Quelles sont les relations entre biodiversité, structure des communautés et fonction de ces écosystèmes ?
- Quels sont les processus biogéochimiques qui influencent le maintien, la croissance ou la perte des structures récifales (balance des carbonates, calcification corallienne, processus de bioérosion récifale...) ?



Protection et gestion de territoires insulaires non souverains

Si le niveau de pression anthropique directement exercé sur les Îles Éparses est faible, ces écosystèmes ne sont pas exempts de menaces. Dans le passé, ce sont différentes espèces introduites volontairement ou involontairement par l'homme qui ont conduit à des déséquilibres importants dans les faunes et flores terrestres de ces îles. Aujourd'hui et demain, ces écosystèmes, notamment leur partie marine, sont et seront soumis à des pressions nouvelles du fait des ressources qu'ils abritent. Ces pressions pouvant entretenir des conflits autour des questions de souveraineté.

- Quel est et/ou serait l'impact de l'exploration/exploitation des ressources (énergétiques,

minérales, vivantes) et/ou des changements climatiques sur ces écosystèmes ? Peut-on modéliser les conséquences de ces pressions d'origine anthropique ? Peut-on définir des « points zéros » sur des espèces, communautés ou groupes clés et habitats associés avant exploration/exploitation et/ou comme référence pour des études comparatives régionales.

- Quels sont les conflits enregistrés actuellement en droit international de la mer sur la souveraineté, la délimitation de ces zones ?
- Quelles formes de résolutions du conflit, pour autant qu'il soit exprimé publiquement, seraient à disposition pour apaiser les tensions autour de ces îles et quelles solutions (de gestion, de gouvernance ou autres) sont proposées ?

Eaux douces, espèces et bassins versants

CONTEXTE ET ENJEUX

Dans l'océan Indien les systèmes insulaires dépendent fortement du milieu océanique, tant au niveau climatique que biologique. La colonisation des îles par la faune d'eau douce va dépendre ainsi de plusieurs facteurs : proximité des milieux déjà colonisés, capacité de dispersion des espèces, ancienneté de l'émergence des îles, présence de courants favorables etc. L'ensemble de ces facteurs et les vagues de colonisation faunistiques successives ont modelé les systèmes aquatiques de ces îles et l'évolution des espèces qui y sont inféodées, favorisant ou non l'apparition d'espèces endémiques⁹⁷. Seules des espèces diadromes, c'est-à-dire effectuant une partie de leur cycle en eau de mer et une partie en eau douce ont pu coloniser ces milieux⁹⁸, permettant ainsi d'échapper aux épisodes de sécheresse et aux crues cycloniques des bassins versants insulaires, tout en colonisant des milieux nouveaux. Les stratégies

de dispersion de ces organismes représentent un moteur essentiel de la structuration et de la persistance des communautés faunistiques allant de l'échelle locale du cours d'eau, d'une île ou d'un archipel, à l'échelle régionale⁹⁹.

Dans les îles d'origine volcanique toutes les espèces dulçaquicoles indigènes de poissons, crustacés et mollusques sont diadromes. Les espèces diadromes font souvent l'objet de pêcheries locales et sont souvent d'excellents indicateurs de la qualité des milieux. La compréhension de l'écologie de ces organismes diadromes est donc cruciale pour l'élaboration et la mise en place de moyens de gestion des espèces et de leurs habitats¹⁰⁰.

Dans ces milieux dulçaquicoles, en particulier d'origine volcanique, il n'existe pas de poissons d'eau douce « vrais » indigènes, dits primaires et secondaires puisque ces milieux jeunes à leur émergence ne possèdent pas de rivières

97. Keith, P., Marquet, G., Valade, P., Bosc, P. & Vigneux, E. (2006) Atlas des poissons et crustacés d'eau douce des Comores, Mascareignes et Seychelles. MNHN, Patrimoines naturels, vol. 67, Paris, 158p.

98. McDowall R.M. (1988) Diadromy in fishes: migrations between freshwater and marine environments. Croom Helm, London. Mc Dowall R.M., 1997. Is there such a thing as amphidromy ? *Micronesica*, 30(1), 3-14.

99. Keith P (2003) Biology and ecology of amphidromous Gobiidae in the Indo-pacific and the Caribbean regions. *Journal of Fish Biology*, 63(4), 831-847.

100. Keith P, Lord C., Maeda K. (2015) Indo-Pacific Sicydiine Gobies: biodiversity, life traits and conservation. Société Française d'Ichthyologie, Paris, 256p.

et donc pas de faune aquatique. Les espèces d'eau douce vraies se répartissent dans ces deux groupes. Les espèces dites primaires sont strictement intolérantes aux eaux salées alors que les espèces secondaires sont généralement inféodées aux eaux douces mais sont capables de traverser des barrières salées étroites pour transiter entre deux bassins. Les îles n'ont pu être colonisées que par des familles ayant une phase marine. Les peuplements des systèmes insulaires sont donc dominés par des espèces diadromes. La tolérance à la salinité, à un ou plusieurs stades du cycle de vie est le critère majeur d'adaptation en milieu insulaire pour les espèces aquatiques.

La majorité des espèces des systèmes insulaires de l'océan Indien sont amphidromes : la migration entre l'eau douce et l'eau de mer ne

se fait pas au moment de la reproduction mais à un autre moment du cycle biologique (poissons⁹⁷, crustacés¹⁰¹ ou mollusques¹⁰²).

Être amphidrome présente certains avantages et inconvénients dans le contexte insulaire. Parmi les risques, ceux concernant la phase larvaire sont les plus importants. Cependant, cette stratégie est particulièrement adaptée à la colonisation de nouveaux milieux, émergents de points chauds le long des plaques océaniques. Avoir des larves en mer facilite aussi la colonisation ou la recolonisation de milieux sujets à de nombreuses perturbations périodiques comme des éruptions volcaniques ou à de fortes variations climatiques et hydrologiques. C'est aussi une stratégie qui autorise une dispersion importante, parfois transocéanique¹⁰³.



PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Les services rendus et les menaces

Outre le rôle que jouent les rivières et les bassins versants dans la ressource en eau (voir chapitre « gestion des ressources naturelles »), les écosystèmes dulçaquicoles sont remarquables à divers points de vue.

Les espèces diadromes forment une composante majeure de la faune des cours d'eau des îles de l'océan Indien. Elles sont distribuées, suivant leur écologie, depuis les estuaires jusqu'aux parties supérieures. Ces espèces sont sensibles aux perturbations du milieu (d'origine anthropique ou non). Ce sont de bons indicateurs de la qualité de ce dernier, en termes de couvert forestier, d'oxygénation, de turbidité, de température, de continuum fluvial, etc⁹⁸.

Plusieurs espèces chez les poissons *Gobiidae* font aussi l'objet d'importantes pêcheries à l'état post-larvaire, en particulier les genres *Sicyopterus* et *Cotylopus*, tant aux Mascareignes

qu'à Madagascar. Les post-larves (bichiques) sont capturées au moment du recrutement, lors de leur retour en rivière. Certaines de ces pêcheries sont très développées et existent depuis plusieurs siècles (Focus III-2). Dans l'océan Indien un déclin de la ressource est observé. Les post-larves de ces gobies ont souvent un rôle important dans la socio-économie locale, mais en général aucune mesure de suivi sur du long terme n'est mise en œuvre, à l'exception de quelques essais à La Réunion¹⁰⁴.

Les quatre espèces d'anguilles de l'océan Indien font l'objet de pêcheries intenses. A la différence des gobies, elles sont pêchées à tous les stades de leur vie : civelles arrivant en estuaire, anguilles sédentaires en rivière ou estuaire, anguilles dévalant vers la zone de reproduction. Ces pêcheries multiples mettent gravement en danger la survie des espèces. Enfin, les « écrevisses » (*Macrobrachium ssp*) et les chevaquines (crustacés *Atyidae*) font aussi l'objet de

101. Castelin M., Feutry P., Hautecoeur M., Marquet G., Wowor D., Zimmermann G., Keith P. (2013) New insight on the genetic connectivity of the widespread amphidromous prawn *Macrobrachium lar* (Fabricius, 1798) (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae). *Marine Biology*, 160, 1395–1406.

102. Abdou A., Keith P., Galzin R. (2015) Freshwater neritids (Mollusca: Gastropoda) of tropical islands, amphidromy as a life cycle, a review. *Revue d'écologie (Terre et Vie)*, 70(4), 387-397.

103. Lord C., Lorion J., Dettai A., Watanabe S., Tsukamoto K., Cruaud C., Keith P. (2012) From endemism to widespread distribution: phylogeography of three amphidromous *Sicyopterus* species (Teleostei: Gobioidae: Sicydiinae). *Marine Ecology Progress Series*, 455, 269–285.

104. Lagarde R., Teichert N., Grondin H., Magalon H., Pirog A., Ponton D. Temporal variability of larval drift of tropical amphidromous gobies along a watershed in Réunion Island. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, on line.

pêcheries intensives et souvent de braconnage tant aux Comores, qu'à Madagascar ou qu'aux Mascareignes.

D'une manière générale, l'exploitation des pêcheries de post-larves dans l'océan Indien n'est pas durable dans les conditions actuelles. D'importants progrès restent donc à accomplir pour tenter de mieux appréhender les variations inter et intra-annuelles de l'état des stocks sachant qu'il devient urgent de disposer d'outils sur lesquels on puisse s'appuyer pour gérer cette ressource, celle-ci étant de plus en plus convoitée et menacée.

Les principales menaces pour les espèces et les écosystèmes d'eau douce insulaires sont résumées dans le tableau III-2. Les 4 premières

menaces identifiées dans le tableau sont directement liées à la dominance d'un comportement migratoire, caractéristique de la majorité des espèces.

- Quelle est la connectivité des populations de ces espèces migratrices au niveau régional ?
- Quels sont les facteurs qui influencent la dispersion et le recrutement ?
- Quels seront les conséquences du changement climatique sur ces espèces et leur dispersion ?
- Quels sont les processus évolutifs impliqués dans la diadromie ?



Tableau III-2. Principales menaces pesant sur les espèces dulçaquicoles insulaires d'après Keith et al. (2013).

Menaces	Causes
Barrières physiques	Altération directe liée à : la construction de barrages et déversoirs ou microcentrales ; une conception inappropriée des ponceaux, gués et structures urbaines créant de fortes vitesses et/ou de l'érosion.
Régimes hydrauliques altérés et perte de connectivité longitudinale et latérale	Pompage d'eau pour usage domestique ou pour les besoins de l'agriculture, souvent lié à l'installation de structures tels que les barrages et déversoirs ; changements dans l'utilisation des sols, déforestation qui provoquent le déséquilibre du cycle de l'eau (au travers d'une évaporation accrue et d'une plus faible capacité de rétention de l'eau).
Dégradation des habitats	Altération directe ou indirecte : des habitats aquatiques suite aux extractions minières ou de graviers, ou à la construction de barrages et de routes ; de la ripisylve altérant les processus de filtration en surface et réduisant l'ombrage, le refroidissement et l'oxygénation de l'eau ; sédimentation résultant des activités décrites ci-dessus conduisant à l'envasement/ensablement des lits et des sites de fraie.
Dégradation de la qualité des eaux	Contaminants chimiques dans les cours d'eau et les estuaires en provenance des ruissellements de surface agricoles (engrais et pesticides) et/ou de l'industrie/décharges urbaines (métaux, composés organiques, perturbateurs endocriniens) ; augmentation des particules en suspension qui affecte la physiologie, la reproduction et les migrations - surtout au cours des phases larvaires et post larvaires.
Surpêche	Des pêches existent dans certaines localités affectant certaines espèces et leurs populations.
Introduction d'espèces	Compétition et prédation, altération de l'habitat causée par ces espèces introduites.
Changement climatique	Changements hydrologiques et thermiques dans le régime des cours d'eau ou les changements dans les courants océaniques.

La conservation et la gestion des espèces

Le cycle de vie des espèces indigènes d'eau douce des îles de l'océan Indien est conditionné par un certain nombre de facteurs tels que la libre circulation, le recouvrement végétal naturel, des débits naturels, des estuaires de qualité, ou l'absence d'espèces introduites. Les gestionnaires doivent considérer l'ensemble de ces facteurs pour continuer à assurer la connectivité entre les populations et donc leur pérennité.

Les îles de l'ouest de l'océan Indien possèdent tant chez les poissons et que les crustacés

d'eau douce un patrimoine exceptionnel et il leur incombe, de ce fait, une part de responsabilité dans leur maintien au niveau mondial. Chaque archipel a ses particularités. Certaines espèces endémiques sont déjà menacées ou pourraient disparaître rapidement à la moindre modification du milieu car les populations sont réduites (parfois connues sur une seule rivière). La majorité des espèces rencontrées sont rhéophiles (elles occupent les parties rapides des cours d'eau) ; il importe donc de maintenir des



écoulements suffisants si l'on veut maintenir un bon niveau de biodiversité. La variabilité saisonnière favorise des apports massifs d'eau douce réguliers, permettant ainsi aux larves d'être transportées vers l'aval et aux post-larves de coloniser les cours d'eau depuis l'embouchure. L'eau douce qui se déverse en mer donne en effet le signal de démarrage de la colonisation aux post-larves. La production de larves et le retour des post-larves en rivière sont étroitement liés au maintien d'un corridor océan-montagnes. Il est donc essentiel de permettre le libre accès de la faune aquatique entre l'aval et l'amont, afin de faciliter leur migrations trophiques ou gamiques. Estuaires et embouchures de rivières doivent être préservés car ce sont des zones où beaucoup d'espèces transitent.

Enfin, la couverture végétale primaire des bassins versant des îles de l'océan Indien doit être maintenue, surtout dans les bassins à fort couvert forestier. Les forêts protègent en effet les réserves d'eau souterraines et garantissent des températures de l'eau plus fraîches et sont mieux oxygénées ; elles garantissent aussi une pluviométrie

plus constante et donc un meilleur approvisionnement en eau. Une couverture forestière fournit enfin une grande diversité d'habitats et donc d'espèces tout en étant une source de nourriture exogène pour certaines espèces aquatiques¹⁰⁰.

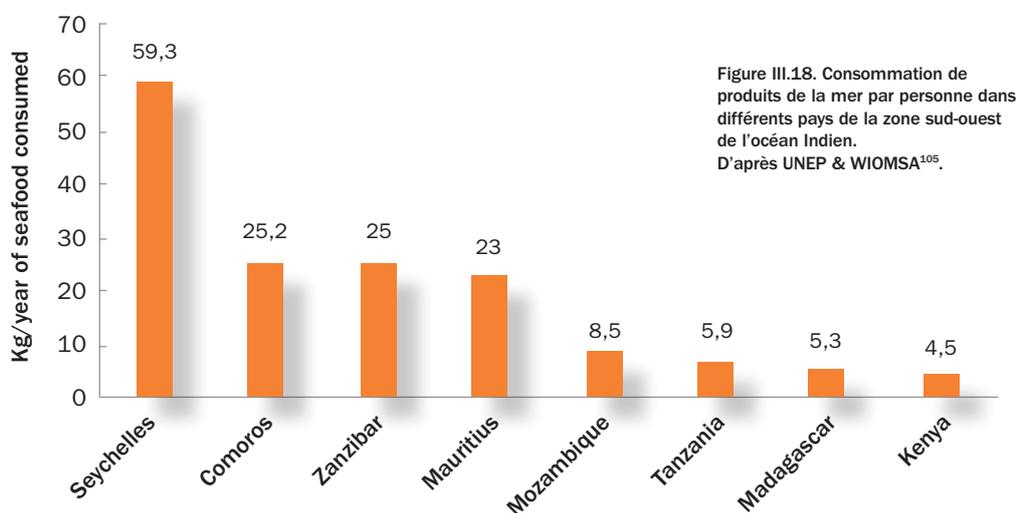
- Quelles coopérations locales et régionales sont nécessaires pour assurer la gestion de ces espèces migratrices ?
- Quelles mesures locales et régionales doit-on mettre en place pour assurer la libre circulation de ces espèces lors de leurs migrations ?
- Comment suivre les prélèvements des pêcheries et appréhender les variations intra et interannuelles des recrutements ?
- Comment définir des bassins versants « réserves » au niveau régional ?
- Quelles études mettre en place en impliquant les communautés humaines pour la pérennité de la ressource ?

FOCUS III.2

Propos de Valenciennes en 1837 dans « l'histoire naturelle des poissons », illustrant l'importance de la pêche des post-larves (bichiques) du cabot bouche ronde (*Sicyopterus lagocephalus*), gobie de l'île de La Réunion

« ... Ce poisson est très commun dans les rivières et les étangs des îles de France et de Bourbon. M. Dussumier nous a appris qu'on le connaît sous les noms de bissique, bichique ou béchique, qui, dans les colonies sont communs à plusieurs gobies. Il atteint rarement quatre pouces de longueur et on le dit très agréable à manger lorsqu'il est frit. On assure que l'adulte ne va jamais en mer, mais il paraît que ses œufs y sont entraînés par les courants, et que c'est là seulement qu'ils éclosent ; car il remonte, en quantités innombrables dans les rivières, surtout à l'époque des nouvelles lunes, de très petits individus qui ont tous les caractères de l'espèce, et qui, au dire de plusieurs pêcheurs, en sont la nouvelle progéniture. C'est une sorte de nonnat, analogue à celui des gobies de la Méditerranée. Ils se glissent à travers les galets et par toutes les plus petites ouvertures qui peuvent les ramener à l'eau douce : des paniers d'osiers placés à cet effet, en sont promptement remplis. Les femmes s'y rendent en foule, creusent de petites mares près du rivage où il suffit du moindre morceau d'étoffe pour en prendre des milliers. M. Dussumier nous certifie qu'à l'embouchure de la petite rivière Saint-Denis, il y a des jours où cette pêche fournit la charge de plusieurs chevaux... »

Interactions hommes-milieu remarquables : de l'aquaculture monotrophique à l'aquaculture multitrophique intégrée ?



CONTEXTE ET ENJEUX

Les petits états insulaires consomment jusqu'à 6 fois plus de produits de la mer que les états continentaux de la zone sud-ouest de l'océan Indien (Figure III-18). Cela reflète leur dépendance vis-à-vis des ressources marines du fait des espaces limités pour l'agriculture et l'élevage.

Mais la pression de pêche exercée sur les espaces maritimes les plus accessibles, accrue par la littoralisation des populations, a débouché inexorablement sur la disparition des ressources côtières et lagunaires. Dans l'océan Indien, l'aquaculture n'est apparue que relativement récemment. Elle ne constitue pas encore une alternative à l'épuisement des stocks de ressources sauvages, mais elle offre de nouvelles capacités de développement aux populations côtières.

Dans la zone ouest de l'océan Indien, la Tanzanie est le pays présentant la plus importante activité d'aquaculture marine, et ce principalement sous forme d'algues rouges. Cette activité initiée dans les années 90 s'est accrue régulièrement. En 2013, la production a atteint près de 160 000 tonnes. Ces algues rouges servent à produire des carraghénanes à destination de différentes industries européennes et américaines. Mais

la transformation des algues ne s'effectue pas dans le pays de production. Depuis les années 2000, d'autres espèces ont fait l'objet d'essais, à plus ou moins grande échelle (Chano, holothurie, coquillages, éponges) avec des succès mitigés¹⁰⁶. Madagascar constitue le second pays de la région en termes de mariculture et ce sur la base de la production de crevettes qui a atteint des maxima (6-8000 tonnes) entre 2006 et 2008 mais qui a subi par la suite une crise majeure. La culture des algues et plus récemment des holothuries connaissent un succès à des échelles locales sur la base de leur association avec des ONG et d'investisseurs privés. Dans les autres pays, et malgré un potentiel important en termes de sites pouvant accueillir des installations aquacoles, et parfois des appuis techniques non négligeables (La Réunion, Mayotte), les essais de développement n'ont pas ou peu été couronnés de succès¹⁰⁷. Plusieurs causes sont proposées comme les impacts environnementaux, les conditions socio-économiques, le manque d'expertise technique et de formation qui sont autant d'obstacles pour une approche intensive de l'aquaculture.

105. UNEP-Nairobi Convention and WIOMSA (2015). The Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean. UNEP and WIOMSA, Nairobi, Kenya, 546 pp.

106. Lesperance, A.D. (2011). Mariculture development in Seychelles and other Western Indian Ocean Island States: An overview of challenges and prospects. In Mariculture in the WIO Region "Challenges and Prospects" (eds. Troell, M., Hecht, T., Beveridge, M., Stead, S., Bryceson, I., Kautsky, N., Ollevier, F. and Mmochi, A.) No 11, pp. 19-22. WIOMSA Book Series.

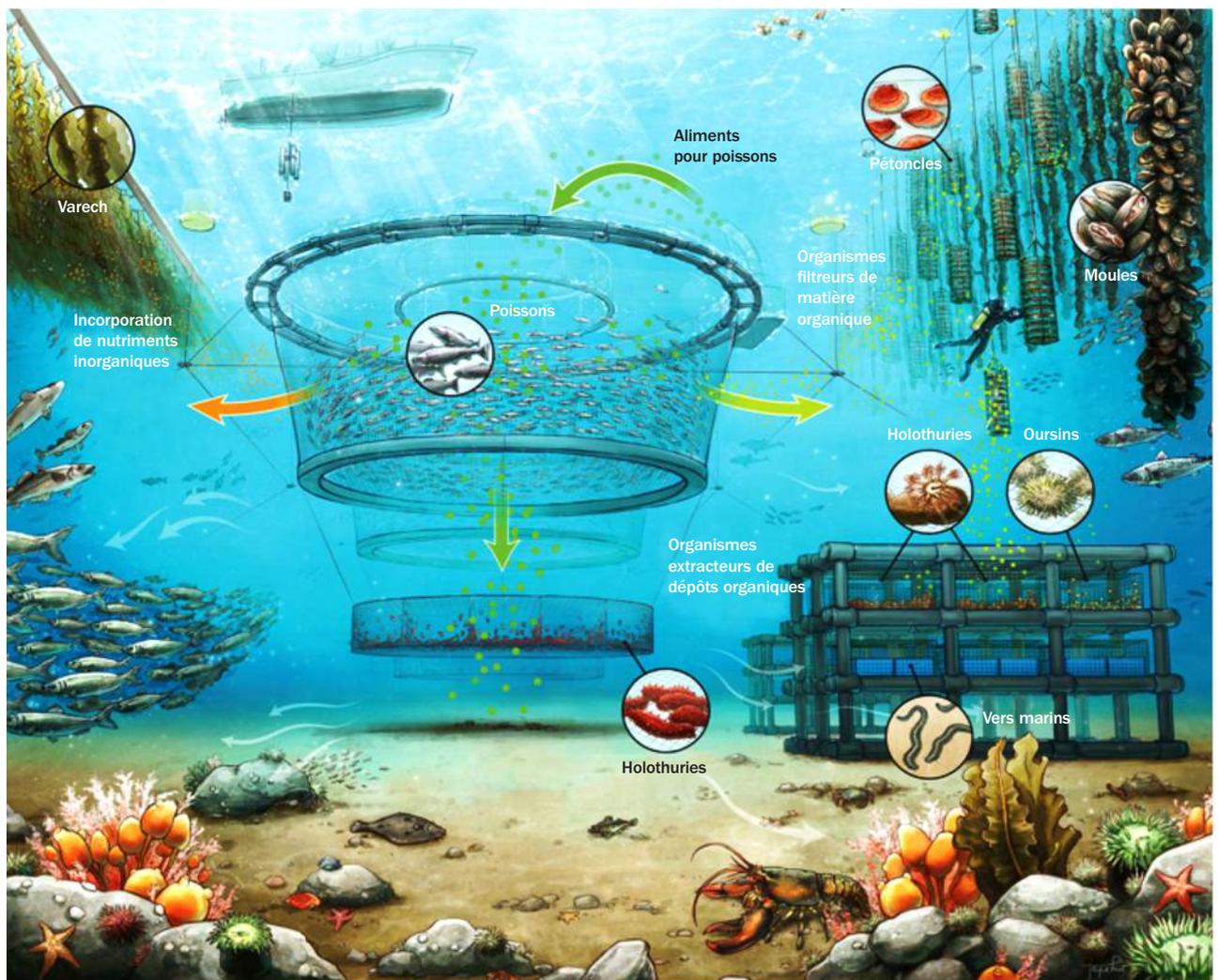
107. UNEP-Nairobi Convention and WIOMSA (2015) The Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean. UNEP and WIOMSA, Nairobi, Kenya, 546 pp.

PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

Au-delà des causes sectorielles pénalisant un développement durable des aquacultures, le modèle aquacole de type monotrophique est de plus en plus questionné au plan international par rapport à la capacité de support environnemental des sites où elle s'est implantée. Diversifier les organismes élevés mais surtout les intégrer dans un modèle d'aquaculture multitrophique intégrée (AMTI) pourrait offrir de nouvelles perspectives plus pertinentes en améliorant la capacité de support environnemental des sites aquacoles.

L'AMTI imite donc un écosystème naturel en combinant l'élevage de plusieurs espèces complémentaires appartenant à différents maillons du réseau trophique (Figure III-19). Les déchets issus de la culture d'une espèce sont ainsi recyclés par les autres espèces¹⁰⁸.

Figure III-19. Schéma d'une installation d'aquaculture multitrophique intégrée¹⁰⁹.



- Nutriments inorganiques dissous
- Nutriments organiques à particules fines
- Courant d'eau
- Nutriments organiques à particules grossières

108. Troell M, Joyce A, Chopin T, Neori A, Buschmann AH, Fang JG (2009) Ecological engineering in aquaculture - potential for integrated multi-trophic aquaculture (imta) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297:1-9.
 109. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/aquaculture/sci-res/imta-amti/imta-amti-fra.htm>

L'AMTI offre de multiples avantages potentiels qu'il convient de préciser, valider et quantifier au regard des caractéristiques physico-chimiques locales (typologie d'élevage, courantologie, bathymétrie), caractéristiques physiologiques et métaboliques des espèces élevées et de la situation socio-économique locale¹⁰⁶.

Parmi ces avantages potentiels :

- Diminution des impacts environnementaux :

Culture d'espèces qui ont des besoins alimentaires complémentaires = diminution sensible des résidus particuliers et dissous, organiques et inorganiques. Intégration = gain de surface.

- Augmentation et diversification des productions :

En plus de leurs capacités de valorisation, les espèces extractives choisies pour faire partie d'un site d'AMTI sont également sélectionnées en fonction de leur valeur en tant que produit commercialisable, pouvant procurer des avantages économiques supplémentaires aux producteurs sous réserve de satisfaire les exigences des marchés cibles en termes de volume et de coût de production.

- Diversification des marchés :

La diversification des espèces peut être valorisée sur différents marchés (du local à l'exportation) sous réserve de satisfaire à leurs exigences en termes de taille et de coût. Elle peut concourir à une éventuelle « labellisation environnementale au niveau local ».

- Robustesse des exploitations :

Il a été montré que la présence des filtreurs atténue les pathologies des poissons. De plus la diminution ou la perte d'une espèce peut être compensée par les autres espèces.

- Outil d'ingénierie écologique :

L'AMTI pourrait jouer un rôle de dispositif d'attraction des poissons (DCP) dans un contexte de réglementations approprié de la pêche. Elle pourrait aussi servir de réservoir de biodiversité et notamment d'espèces ingénieurs comme les *Scaridae* (poissons perroquets) : remédiation des récifs envahis par les algues.

- Acceptabilité sociale :

Dans la mesure où l'AMTI fait la preuve d'un moindre impact environnemental, d'une diversification des produits, d'une durabilité, d'une labellisation... elle peut faire l'objet d'une meilleure acceptabilité sociale^{110,111}.

La mise en œuvre de l'AMTI devrait comprendre une phase d'évaluation analytique des sites qui seraient propices à son implantation et une étape de démonstrateur développée à partir de critères multiples comme ceux de l'utilisation de la diversité locale, la robustesse économique et la facilité de mise en œuvre.

- Comment concevoir et mettre en œuvre des dispositifs d'AMI adaptés aux conditions des différents pays ?
- Comment intégrer ces dispositifs dans une démarche intégrée de développement du territoire ?
- Quel dispositif de collaboration entre pays de la zone peut être utilisé pour partager les expertises acquises sur différentes espèces au plan zootechnique, environnemental ou économique ?
- Comment déployer la méthodologie d'évaluation de l'impact environnemental des différents dispositifs ?
- Comment accompagner les pays dans la mise en œuvre du dispositif le mieux évalué ?

110. Barrington K, Ridler N, Chopin T, Robinson S, Robinson B (2010) Social aspects of the sustainability of integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture International* 18:201-211

111. Martínez-Espiñeira R, Chopin T, Robinson S, Noce A, Knowler D, Yip W (2015) Estimating the biomitigation benefits of integrated multi-trophic aquaculture: A contingent behavior analysis. *Aquaculture* 437:182-194

Interactions hommes-milieu remarquables : les Aires Marines Protégées

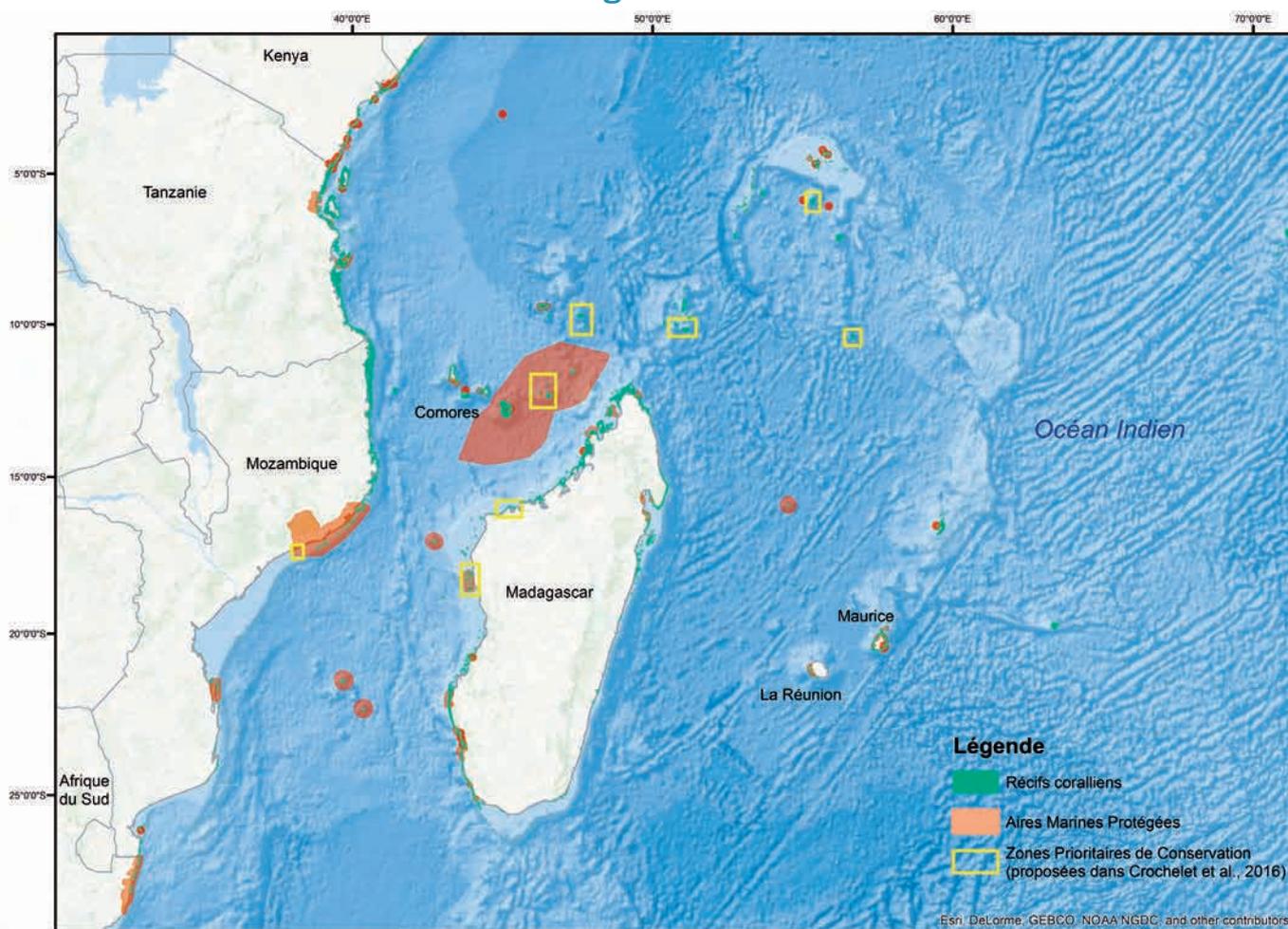


Figure III-20. Localisation des récifs coralliens et des aires marines protégées dans la région SO océan Indien avec identification des zones prioritaires de conservation. D'après Crochelet et al. 2016¹¹⁵.

CONTEXTE ET ENJEUX

Face aux menaces qui pèsent sur les écosystèmes marins et les populations humaines associées, de nombreuses Aires Marines Protégées (AMP) ont été mises en place pour permettre une gestion durable des ressources et des pêcheries, restaurer les écosystèmes dégradés et conserver la biodiversité.

La première AMP de l'océan Indien occidental a été mise en place en 1965 au Mozambique, suivie par Madagascar et le Kenya (UNEP-WCMC, 2010)¹¹². Les premières AMP créées

avaient tendance à être de petites tailles (inférieure à 10 km²) et conçues pour protéger un habitat spécifique. Dans les années 1990, les AMP deviennent plus grandes, elles intègrent des usages multiples, et sont basées sur des formes de gestion plus participatives¹¹³.

Aujourd'hui, il en existe dans tous les pays de la région (Figure III-20), sauf en Somalie où les contextes politique et social font que les plans de conservation sont difficiles à mettre œuvre¹¹⁴.

112. IUCN, U. W. (2010). The world database on protected areas (WDPA). Annual Release, 1-9.

113. Roccliffe, S., Peabody, S., Samoilys, M. and Hawkins, J.P. (2014). Towards A Network of Locally Managed Marine Areas (LMMAs) in the Western Indian Ocean. PLoS ONE 9(7), e103000

114. Barrow, E., Mahler, F., Mosele, L., Mvovi, C., & Ntahuga, L. (2007). Sound Natural Resource Management: The Foundation for Achieving the MDGs in Somalia. Policy Brief.

115. Crochelet E., Jason R., Magabriele E., Obura D., Petit M. & Chabanet P., 2016. A model-based assessment of reef larvae dispersal in the Western Indian Ocean reveals regional connectivity patterns. Potential implications for conservation policies. Regional Studies in Marine Science 24: 94-110.

Les travaux d'inventaire les plus récents¹¹³ sur les aires marines protégées montrent que globalement dans la région ouest de l'océan Indien, il existerait au moins 136 Aires Marines Gérées (AMG, en anglais Marine Managed Areas, MMA). Ces AMP représentent une couverture totale de 183 975 km², représentant moins de 10 % du plateau continental de la région. 66 % des récifs coralliens de l'océan Indien occidental sont considérés à risque vis à vis des menaces locales, dont la moitié avec un risque élevé voir très élevé, en particulier en Somalie, Tanzanie, Comores et La Réunion, où plus de 90 % des récifs sont menacés par les activités humaines telles que la surpêche, la pollution des bassins versants et la pêche à la dynamite¹¹³.

Cette terminologie englobe les différentes catégories de dispositif mis en œuvre à des fins de protection du milieu marin. Aux côtés des dispositifs de type AMP (en anglais Marine Protected Areas, MPAs) existent en effet des Aires marines gérées localement (acronyme proposé AMGL, en anglais Locally Managed Marine Areas, LMMAs). Ces dispositifs diffèrent notamment par leur

gestion « centralisée » au niveau gouvernemental pour les premiers ou locale pour les seconds, *i.e.* des sites où les gouvernements nationaux ont délégué leur autorité de gestion aux communautés locales (cf. Focus III-3). Les AMGL sont globalement de plus petite taille que les AMP et de création plus récente dans la région.

Leur création est en grande partie la conséquence des difficultés qu'ont certains Etats à mettre en place, à gérer des dispositifs de grande envergure, et des déceptions en regard des attentes des populations locales.

Les chiffres globaux (tableau III-3) pourraient laisser penser qu'en regard des objectifs révisés que les parties de la Convention sur la Diversité Biologiques se sont fixés d'ici 2020 (protéger au moins 17 % des terres et des eaux intérieures et 10 % des zones côtières et marines), les efforts consentis ont permis de les atteindre, du moins pour ce qui est du plateau continental (AMP + AMGL = 10,8 %). Mais des différences considérables existent entre les différents pays (table III-3) en regard à la fois du pourcentage des aires côtières bénéficiant d'un statut de protection et de gestion et du type de protection.

Tableau III-3.
Caractéristiques des aires marines gérées de la zone côtière Ouest de l'océan Indien (D'après Rocliffe *et al.* 2014¹¹³ actualisé et modifié).

Pays	AMP			AMGL			AMP + AMGL	
	Nombre	Surface (km ²)	% plateau continental	Nombre	Surface (km ²)	% plateau continental	% plateau continental	Pays/total (%)
Afrique du Sud	4	961	6,00	0	0	0,00	6,00	0,67
Comores	1	404	28,50	0	0	0,00	28,50	0,28
France	3	111035	54,90	0	0	0,00	54,90	77,00
La Réunion	1	35	3,60	0	0	0,00	3,60	0,02
Mayotte	1	68000	100,00	0	0	0,00	100,00	47,16
Glorieuses	1	43000	100,00	0	0	0,00	100,00	29,82
Kenya	9	835	9,90	14	109	1,30	11,20	0,66
Madagascar	8	2603	2,70	34	6635	6,90	9,58	6,41
Maurice	13	139	0,50	0	0	0,00	0,50	0,10
Mozambique	6	14551	19,90	1	18	0,00	19,92	10,10
Seychelles	14	202	0,60	0	0	0,00	0,60	0,14
Somalie ^a								0,00
Tanzanie	13	2161	24,14	12	4566	51,01	75,14	4,67
Total	74	132892	28,39	62	11311	3,50	31,89	100

a : pas de données disponibles pour la Somalie

La Tanzanie est le pays où la proportion du plateau continental est la plus protégée (75 %), et ce essentiellement par des dispositifs de type AMGL. À l'opposé, les côtes somaliennes ne bénéficient d'aucun dispositif de protection. Si certains pays, comme la France, ont développé des dispositifs de type AMP de grande envergure (Parc marin de Mayotte et des Glorieuses : 68381 et 43000 km², respectivement), d'autres comme Madagascar s'appuient historiquement sur des dispositifs de type AMGL. L'origine de la protection y reste cependant le fruit d'une initiative et d'une autorisation de l'État central : le procédé (légal) de création ne sera donc pas confondu avec les formes de gestion pratiques envisagées ensuite.

La recherche conduite ou à conduire sur ces questions doit permettre les nuances nécessaires à l'analyse de ces transformations. Au-delà du nombre, des surfaces et des types de dispositifs de protection et/ou de gestion, l'efficacité des procédés de protection et de gestion est peu ou pas connue, pas plus que les critères de succès, comme la taille des dispositifs¹¹³.

La mise en réseau de ces AMP sur des grandes distances, via des corridors écologiquement connectés par des processus tels que la dispersion larvaire, permettrait d'optimiser leur efficacité. Un travail récent¹¹⁵ intégrant des données de courants, issues de mesures d'altimétrie par satellite, et utilisant un modèle biophysique a permis d'évaluer la connectivité entre les récifs de l'océan Indien et d'identifier des sites prioritaires de conservation au sein du réseau (Figure III-20).

L'attention médiatique portée depuis de nombreuses années à la disparition de la faune et de la flore sauvage d'Afrique et les difficultés rencontrées pour s'y opposer a contribué à générer une véritable feuille de route pour protéger la biodiversité. À la suite du colloque de

Weotenga¹¹⁶, l'UICN à travers son programme sur la Conservation et les Aires africaines protégées (AAP)¹¹⁷ a proposé différents outils complémentaires pour s'assurer que les AAP remplissent bien leur rôle. La liste verte des aires protégées de l'UICN est une initiative qui vise à reconnaître, selon un protocole standardisé, les succès de gestion et de gouvernance des aires protégées et à les transmettre. Elle est testée au Kenya sur deux aires protégées pilotes. Concernant l'Afrique de l'Est et donc les pays bordant l'océan Indien, il existe un cadre pour l'observation de la biodiversité et des aires protégées (BIOPAMA).

À notre connaissance, les dispositifs de protection des zones marines de l'Afrique de l'Est ne sont pas pris en compte, seuls le réseau d'AMP de l'Afrique de l'Ouest a fait l'objet d'une analyse par l'UICN¹¹⁸.

Enfin, il est à noter qu'il existe une sectorisation très marquée entre les dispositifs terrestres et marins, l'idée de concevoir des dispositifs de protection et de gestion intégrant le continuum terre-mer n'ayant jamais été rencontrée dans les documents de référence sur les stratégies régionales de mise en œuvre des aires protégées.

Le statut de protection des territoires marins et terrestres de l'île de Mayotte illustre les déséquilibres qui peuvent être observés sur les systèmes insulaires : seul 0,2 % des 374 km² de Mayotte bénéficient d'une protection réglementaire (la plus faible proportion d'espace terrestre des territoires ultra-marins français) alors que la totalité du lagon (1100 km²) dispose du statut d'AMP¹¹⁹. Paradoxalement, sur les 385 espèces protégées, 345 sont des espèces terrestres : comment espérer protéger des espèces dont le territoire ne l'est pas ?



115. Crochelet E., Jason R., Magabriele E., Obura D., Petit M. & Chabanet P, 2016. A model-based assessment of reef larvae dispersal in the Western Indian Ocean reveals regional connectivity patterns. Potential implications for conservation policies. *Regional Studies in Marine Science* 24: 94-110. 116. Anonyme (2012). Improving conservation in protected areas in Africa ... Summary of the meeting in WEOTENGA organized in Burkina Faso (October 2011, 25-27). UICN, 55 p. (<http://papaco.org/wp-content/uploads/2015/07/Weotenga-Report-January-2012.pdf>)

117. <http://papaco.org/road-map/>

118. RAMPAM (2010). Evaluation de l'efficacité de la gestion des aires marines protégées du RAMPAM, Dakar, 81 p. (<http://papaco.org/fr/wp-content/uploads/2015/07/RAPPAM-RAMPAM.pdf>)

119. UICN France (2014) - Stratégie biodiversité pour le développement durable de Mayotte - 2013-2020. Mayotte, France. 84 pages

PROBLÉMATIQUES ET QUESTIONS

La création d'une base de données sur les différents dispositifs de gestion/protection des écosystèmes marins et terrestres de l'océan Indien pourrait être un objectif partagé au sein de la communauté scientifique régionale et par différentes disciplines. Elle permettrait d'aborder des questions comme :

- Comment évaluer objectivement l'efficacité de ces dispositifs en regard de critères environnementaux, sociaux et économiques ?
- Quelles sont les zones marines et terrestres à protéger en priorité en regard de leurs rôles de source de biodiversité et de leur productivité ?
- Comment renforcer les financements (toute source confondue) des AMP et quels financements innovants mobiliser ?

- Les dispositifs de protections actuels et à venir sont-ils congruents avec la répartition spatiale des organismes vivants et de leur diversité dans l'océan Indien ?

Afin de mieux comprendre les connectivités entre populations dans le futur, il serait intéressant de développer des modèles courantologiques à plus fine échelle (production de produits de télédétection haute résolution, développement de modèles mathématiques de haute résolution...), et d'améliorer les connaissances sur les cycles biologiques des espèces. Cet axe de recherche concerne les espèces côtières (tropicales et tempérées) mais également les espèces de haute mer (zones au-delà des juridictions nationales, monts sous-marins), ces écosystèmes étant intrinsèquement liés avec des échanges d'individus entre les monts sous-marins et les écosystèmes côtiers par exemple.

FOCUS III.3

Définitions AMP et AMGL

AMP :

D'après l'IUCN¹, les aires marines protégées se définissent comme un espace clairement défini sur le plan géographique, reconnu, dédié et géré à travers des moyens légaux ou effectifs d'une autre nature, pour obtenir la conservation à long-terme de la nature avec les services associés de l'écosystème et les valeurs culturelles.

AMGL :

D'après Govan *et al.* (2009)², les aires marines gérées localement correspondent à une surface d'eau et de ressources côtières qui est largement ou totalement gérée à un niveau local par les communautés côtières, des groupes de propriétaires terriens, des organisations partenariales, et/ou des représentants des gouvernements qui réside ou sont proches de l'aire concernée.

Les différentes catégories d'aires marines gérées d'après Rocliffe *et al.* (2014)³ :

- Type 1 « centralisée » : les gouvernements ou les acteurs non gouvernementaux désignent et gèrent la zone. Aucun mécanisme de dialogue n'existe avec les utilisateurs et les décisions sont prises par les gestionnaires des ressources.
- Type 2 « consultative » : les gouvernements ou les acteurs non gouvernementaux désignent et gèrent la zone. Bien que des mécanismes de dialogue existent avec les utilisateurs, en pratique, la plupart des décisions sont pris par les gestionnaires des ressources.
- Type 3 « coopérative » : les communautés locales et les gouvernements ou les acteurs non gouvernementaux coopèrent comme des partenaires de même niveau dans les processus de décision.
- Type 4 « locale » : le gouvernement délègue l'autorité de gestion aux communautés locales. La compétence du gouvernement est restreinte à la production d'avis et à l'approbation des décisions de gestion prises par les communautés locales.

1. Day J, Dudley N, Hockings M, Holmes G, Laffoley D, *et al.* (2012) Guidelines for applying the IUCN Protected Area Management Categories to Marine Protected Areas. Gland, Switzerland: IUCN. 36 p.

2. Govan H, Tawake A (2009) Status and potential of locally-managed marine areas in the South Pacific: meeting nature conservation and sustainable livelihood targets through wide-spread implementation of LMMAs. New Calendon: Coral Reef Initiatives for the Pacific.

3. Rocliffe, S., Peabody, S., Samoily, M. and Hawkins, J.P (2014). Towards A Network of Locally Managed Marine Areas (LMMAs) in the Western Indian Ocean. PLoS ONE 9(7), e103000



Outils actuels et besoins

Cette section est dédiée tout d'abord à un inventaire qui, sans prétendre à l'exhaustivité, vise à faire connaître les principaux supports aux activités de recherche existant sur les territoires français de la zone sud-ouest de l'océan Indien. Les besoins transversaux sont ensuite mentionnés et ce, principalement en regard des problématiques et questions qui ont été présentées dans les sections précédentes.

Les principaux supports actuels aux recherches en environnement

Les plateformes et les structures fédératives d'appui à la recherche de l'île de La Réunion

La communauté scientifique de l'île de La Réunion dispose d'équipements de tout premier plan. Plusieurs organismes de recherche (CNRS, IRD, CIRAD, Ifremer...) sont associés le plus souvent dans des UMR avec l'Université de La Réunion.

Sur le site de Saint-Denis, outre les équipements spécifiques aux laboratoires, il faut noter la présence du Groupement d'Intérêt Public CYROI (Cyclotron Réunion Océan Indien) qui est une plateforme de recherche et d'innovation en biotechnologies. Elle met en œuvre un plateau technique pluridisciplinaire de haut niveau. Ce plateau technique est mis à disposition des laboratoires publics et des entreprises souhaitant développer des programmes de recherche et/ou d'innovation. Initialement (en 2003) il s'agissait d'un plateau technique destiné aux productions radiopharmaceutiques en support de la thématique des maladies métaboliques. Les problématiques des maladies infectieuses émergentes ont conduit à développer de nouveaux outils permettant de coupler des capacités d'expérimentation en conditions contrôlées et des capacités analytiques très performantes. A ce titre, le CYROI abrite le CRVOI (Centre de recherche et de veille sur les maladies

émergentes dans l'océan Indien) structuré en GIS entre l'Etat français (représenté par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, le Ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports), huit agences et Etablissements publics de recherche œuvrant dans les domaines des sciences de la vie et les partenaires institutionnels de l'île de La Réunion. La troisième composante thématique de la plateforme est celle de la valorisation de la biodiversité terrestre et marine. A côté du soutien apporté aux équipes de recherche, la plateforme a également intégré la fonction de pépinière puis d'hôtel pour start-up en sciences du vivant et biotechnologies. En 2016, la pépinière compte 8 start-up et un projet d'extension est en cours pour porter la capacité d'accueil jusqu'à 18 start-up.

Le CIRAD au titre de l'UMR Peuplements végétaux et bioagresseurs en milieu tropical met en œuvre une plateforme très bien équipée sur le site de Saint-Pierre : la plateforme de protection des plantes (3P), labellisée GIS-Ibisa. Outre 3 laboratoires (santé des végétaux, pathologie et génétique moléculaire, écologie terrestre et lutte intégrée), la plateforme dispose d'une installation de quarantaine spécialisée dans l'étude des phytopathogènes et d'un centre de ressources biologiques conservant des collections de ressources génétiques d'espèces végétales tropicales.

Plusieurs structures fédératives apportent leur soutien aux actions collectives (essentiellement soutien aux projets de recherche proposés par les laboratoires ou à des manifestations nationales ou internationales) :

**Fédération « BioSécurité en milieu Tropical » (BioST - FED4126)
regroupant 9 unités de recherche :**

- Ecologie marine Tropicale dans les océans Pacifique et Indien (UMR ENTROPIE) (CNRS-IRD-UR)
- Diabète-Athérombose-Thérapies Réunion Océan Indien (UMR DETROI) (Inserm, UR, CHU)
- Processus Infectieux en Milieu Insulaire Tropical (UMR PIMIT) (Inserm, CNRS, IRD, UR)
- Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles et des Sciences des Aliments (LCSNSA - EA2212) (UR)
- L'UMR Peuplement Végétaux et Bioagresseurs en Milieu Tropical (UMR PVBMT) (Cirad, UR)
- Dynamique des Systèmes et Interactions des Macromolécules Biologiques (DSIMB – UMR-S 1134)
- Espace pour le Développement (ESPACE-DEV – UMR 228)
- Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité (QUALISUD – UMR95)
- Centre d'Etudes Périnatales de l'Océan Indien (CEPOI – EA7388)

L'objectif de BioST est d'optimiser le potentiel d'innovation qui se réalise le plus souvent aux interfaces disciplinaires en faisant dialoguer des scientifiques issus de champs distincts (santé, agronomie, agro-alimentaire, sciences de l'homme et de la société) et des partenaires socio-économiques invités à interagir au travers du prisme de la biosécurité.

**L'Observatoire des Sciences de l'Univers de la Réunion (OSU-Réunion) (CNRS, UR)
intègre outre l'UMS3365, la Fédération « Observatoire des milieux naturels et
des changements globaux » (OMNCG - FED4128). Les unités de recherche qui font partie
de la fédération de recherche OMNCG sont les suivantes :**

- Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones (UMR LACY) (UR, CNRS, Météo France) ;
- Géosciences Réunion, (UMR LGSR) (UR, CNRS) ;
- Ecologie marine Tropicale dans les océans Pacifique et Indien (UMR ENTROPIE) (CNRS-IRD-UR) ;
- Peuplement Végétaux et Bioagresseurs en Milieux Tropicaux (UMR PVBMT) (CIRAD, UR) ;
- Espace pour le Développement (UMR Espace-Dev) (IRD, UR, Université Montpellier, Université des Antilles, Université de la Guyane) ;
- Energétique, d'Electronique, et Procédés (EA LE2P) (UR) ;
- Informatique et Mathématiques (EA LIM) (UR) ;
- Physique et Ingénierie Mathématique pour l'Energie et l'environnement (EA PIMENT) (UR).

Plusieurs stations d'observation sont également rattachées à l'OSU :

- L'Observatoire de Physique de l'Atmosphère de la Réunion (OPAR) ;
- La station forestière ;
- La station côtière ;
- La station hydrologique ;

**L'OVPF (Observatoire Volcanique du Piton de la Fournaise) dépendant de l'IPGP
(Institut de Physique du Globe de Paris) est aussi associé scientifiquement à l'OSU-Réunion.**

Les principaux objectifs de l'OSU sont de renforcer les capacités d'observation et d'analyse des milieux naturels, développer des outils technologiques, informatiques et mathématiques pour les études environnementales, afin de pouvoir mieux informer les pouvoirs publics.

L'Observatoire des Sociétés de l'Océan Indien (OSOI - FED4127) comprend 6 équipes de recherche travaillant sur la connaissance des sociétés de l'océan Indien :

- Droit - Economie-Gestion - Sciences politiques
 - Centre d'Economie et Management de l'Océan Indien (EA CEMOI) (UR)
 - Centre de Recherches Juridiques (EA CRJ) (UR)
- Lettres-Sciences Humaines et Sociales
 - Contacts de Cultures, de Littératures et Civilisations (EA CCLC) (UR)
 - Langues, textes et communications dans les espaces Créolophones et Francophones (EA LCF) (UR)
 - Océan Indien : Espaces et Sociétés (EA OIES) (UR)
- Sciences de l'Homme et de l'Environnement
 - Déterminants Interculturels de la Motricité et de la Performance Sportive (EA DIMPS) (UR)

L'objectif de cette fédération est de mettre en place un observatoire en Sciences Humaines et Sociales sur les sociétés indianocéaniques, ce qui permettrait de valoriser et de diffuser les acquis de la recherche dans le domaine, ainsi que retracer les transformations de ces sociétés et de leurs liens intra/extra-territoriaux.

Les missions et moyens des Taaf

Les Terres australes et antarctiques françaises (Taaf) instituées en 1955, constituent une collectivité territoriale ultramarine dotée de la personnalité morale et de l'autonomie administrative et financière (<http://www.taaf.fr>). Elles sont le statut de PTOM en droit de l'Union européenne.

Les Terres australes et antarctiques françaises sont formées par l'archipel de Crozet, l'archipel des Kerguelen, les îles Saint-Paul et Amsterdam, la Terre Adélie et les Îles Éparses (depuis la loi du 21 février 2007). Ces dernières rassemblent les îles tropicales de l'archipel des Glorieuses, Juan de Nova, Europa et Bassas da India dans le canal du Mozambique et Tromelin au nord de La Réunion.

La préfecture des Taaf est en charge de la gestion de toutes les ressources de ces territoires et plus spécifiquement de la gestion durable des pêches en fixant les règlements des pêches, les quotas de capture autorisés, les dates des campagnes, les montants des droits de pêche et en délivrant les licences.

Egalement en charge de la protection et de la conservation de l'environnement des Îles Éparses, en accord avec les obligations nationales et régionales (e.g. IOTC, CITES), la préfecture des Taaf s'appuie sur les travaux de la communauté scientifique qu'elle soutient par différentes voies.

A la suite d'une conférence organisée au Sénat en 2009, un consortium inter-organismes

(CNRS, IRD, AAMP, MNHN, Ifremer) dédié aux Îles Éparses a été établi en 2010. Coordonné par le CNRS et les Taaf, un premier programme de recherche interdisciplinaire¹²⁰ a permis de réaliser 18 projets de recherche de 2010 à 2013 soutenus par le consortium, les Taaf et les forces armées de la zone sud-ouest de l'océan Indien (FAZSOI). La préfecture des Taaf souhaite continuer à développer les travaux de recherche sur ces écosystèmes de référence en fournissant un support logistique via les moyens navigants dont elle peut disposer (e.g. Marion Dufresne) et en facilitant l'accès pour les scientifiques et en améliorant leurs conditions de travail. A cet effet les bâtiments d'accueil sont en cours de rénovation sur chacune des îles. Un nouvel appel à projets est envisagé pour la période 2017-2019. L'administration des Taaf accueille également des projets de recherche collaboratifs entre scientifiques et gestionnaires, comme ceux du X^e Fonds Européen pour le Développement. Enfin, un des objectifs des Taaf est de déployer un réseau de stations de mesure automatisées et de pérenniser un réseau de surveillance régulier des Îles Éparses, dont les données pourraient alimenter un observatoire de la biodiversité et des changements climatiques de l'océan Indien, ainsi que les bases de données de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) et de l'IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity & Ecosystem Services).

120. Troussellier M., Changeux T. 2016. Îles Éparses (French Scattered Islands, SW Indian Ocean) as reference ecosystems for environmental research. *Acta Oecologica*, 72 : 1-144.

Les supports de l'île de Mayotte

Si de nombreuses équipes de recherche (CNRS, IRD, MNHN, Université de La Réunion, BRGM...) mènent régulièrement des actions de recherche à Mayotte, aucun organisme de recherche n'est installé de façon permanente sur ce territoire.

Le Centre universitaire de recherche et de formation (CUFR) de Mayotte a été créé en 2011. Il ne dispose que de peu de moyens, comparé notamment à ceux existant sur l'île de La Réunion. Depuis 2015, le CUFR s'est doté d'un laboratoire humide et d'un bateau permettant d'échantillonner sur le lagon. Dans le cadre du CPER 2015-

2020, un budget a été identifié pour la création d'un pôle de recherche en écologie marine en appui aux problématiques multiples concernant le lagon de Mayotte.

Le Parc naturel marin de Mayotte créée en 2010 a mis en place un réseau de surveillance du lagon et met en œuvre le système d'information halieutique (SIH). Il dispose de moyens humains (36 agents), logistiques et navigants et soutient plusieurs actions de recherches. Il est notamment partenaire du CUFR dans l'achat de certains équipements partagés.

Les supports en moyens navigants

Outre quelques facilités locales, il n'existe que peu de moyens navigants institutionnels basés dans la zone permettant de réaliser des campagnes hauturières et côtières de moyenne ou longue durée. Les équipes font le plus souvent appel à des affrètements de moyens privés dont le coût de location peut être relativement élevé. Les demandes de moyens navigants pour des campagnes à la mer se font via les commissions nationales de la flotte hauturière et côtières. Les statistiques issues de la base de données de la flotte océanographique française¹²¹ sont révélatrices de la faible proportion de campagnes à la mer hauturières et surtout côtières réalisées dans l'océan Indien (tableau III-4).

Le navire de la flotte océanographique le plus utilisé annuellement est le Marion-Dufresne. Plus ponctuellement, le Beautemps-Beaupré qui est un bâtiment de la marine nationale française, effectue des campagnes hydrographiques et océanographiques pour le compte du SHOM (Service hydrographique et océanographique de la Marine). Si l'on fait exception des années où le Beautemps-Beaupré effectue ces campagnes, le pourcentage de campagnes océanographiques françaises réalisées dans la zone sud-ouest de l'océan Indien reste inférieur à 5 % du total des campagnes.

Tableau III-4. Campagnes océanographiques françaises réalisées entre 2010 et 2015 dans l'océan Indien. Les noms des navires correspondant aux abréviations utilisées sont les suivants : MD (Marion Dufresne), BB (Beautemps-Beaupré), AT (Atalante), PP (Pourquoi-pas ?), AN (Antéa), HA (Haliotis). Seul ce dernier navire est un navire côtier.

Année	Nombre de campagnes			Navires					
	Océan Indien	Total	%	MD	BB	AT	PP	AN	HA
2015	9	208	4,33	5			2		1
2014	27	204	13,24	8	13	6			
2013	8	217	3,69	8					
2012	4	206	1,94	4					
2011	6	214	2,80	6					
2010	29	233	12,45	6	19			4	
Total	86	1322	6,51	37	32	6	4	4	2

Les supports aux collaborations nord-sud

De multiples actions de collaborations scientifiques existent entre les équipes françaises et les pays de la zone sud-ouest de l'océan Indien. Sans prétendre à l'exhaustivité, les principaux

supports de collaboration ont été recensés entre la France et les pays de la région (http://www.cnrs.fr/inee/communication/prospective_ocean_indien.html).

121. <http://www.flotteoceanographique.fr/Documentation/Base-de-donnees-des-campagnes-oceanographiques>

Madagascar et L'Afrique du Sud sont les deux pays qui ont le plus grand nombre de supports de collaboration bilatéraux et multilatéraux.

Les outils de collaboration qui concernent le plus de pays de la région, si ce n'est la totalité d'entre eux, sont les réseaux de coopération scientifique et technique dans les domaines des ressources agro-alimentaires et ceux relatifs à la santé animale et humaine portés principalement par le CIRAD.

La plupart des supports de collaboration régionale impliquant l'un ou l'autre des institutions de recherche françaises concernent les systèmes terrestres et très peu les systèmes marins, alors que ces derniers bénéficient de plusieurs instances intergouvernementales dédiées à la gestion des ressources marines.

Parmi ces instances internationales, la Commission de l'océan Indien (COI) regroupe 5 pays francophones de la région océan Indien : Union des Comores, France/Réunion, Madagascar, Maurice, Seychelles.

Les 5 domaines d'intervention de la COI constituent des axes thématiques qui recoupent naturellement de multiples problématiques exposés dans cet exercice de prospective :

DI 1 – Stabilité et diplomatie, santé, genre et mobilité

DI 2 – Espace et infrastructures économiques régionales

DI 3 - Pôles de croissance régionale bleue et verte, spécialisations et valorisation économique

DI 4 – Un environnement insulaire et océanique commun résilient et durable

DI 5 – Identité indianocéanique et la valorisation de ses ressources humaines et naturelles

L'Association des sciences marines de l'ouest de l'océan Indien (Western Indian Ocean Marine Science Association, WIOMSA) constitue l'organisation scientifique internationale la plus large de la région dans le domaine des sciences marines en réunissant 10 pays (Somalie, Kenya, Tanzanie, Mozambique, Afrique du Sud, Comores, Madagascar, Seychelles, Maurice, Réunion (France)). Le WIOMSA a une attention particulière pour les questions relatives à l'utilisation durable et la protection des ressources marines. Cette association coordonne des projets de recherche, soutient et développe les réseaux régionaux, réalise de nombreuses actions de diffusion et de transmission des connaissances, publie des articles de recherche originaux à travers le « Western Indian Ocean Journal of Marine Sciences » et organise des symposiums internationaux tous les deux ans. Le dernier symposium qui s'est tenu en octobre 2015 en Afrique du Sud a accueilli plus de 200 communications et a notamment conduit 500 scientifiques de la région à signer une déclaration adressée à la COP21 pour appeler à une action décisive de la classe politique et des leaders économiques en faveur du climat (cf. Focus III-4).



Les besoins transversaux des communautés scientifiques

Observations

S'il existe déjà de multiples observatoires thématiques (économique, sociétés, santé, villes et ports, sismique, atmosphère, récifs coralliens, ressources halieutiques,...) sur différentes parties de la zone sud-ouest de l'océan Indien, les transformations majeures qui accompagnent le développement de la région océan Indien dans le double contexte de la mondialisation et du changement climatique appellent au ren-

forcement des structures d'observation et de mesure mises en place au cours des dernières décennies. Au-delà de l'observation et mesure des processus qui contrôlent la dynamique des ressources et des risques naturels ou sociaux sur des stations fixes d'une zone donnée (ORE, SNO...), il s'agit également de disposer de toute la flexibilité et mobilité d'observation et de mesure nécessaires pour mieux calibrer et valider

les dynamiques spatio-temporelles suivies par les satellites, et/ou mieux comprendre les passages d'échelles qui affectent les couplages entre processus physiques et sociaux. Une approche coordonnée des différents observatoires présents sur le continent africain et les îles de l'océan Indien est nécessaire pour le suivi à long terme du changement climatique et de ses impacts sur l'environnement et les hommes.

Pour atteindre ces objectifs une première étape consisterait à faire une cartographie géographique et thématique des observatoires à l'échelle régionale pour (1) optimiser leur utilisation et la coordination de suivis pérennes à l'échelle régionale et (2) identifier de façon objective les nouveaux dispositifs à mettre en place en regard des enjeux locaux et régionaux en termes de développement durable.

L'analyse conjointe des problématiques scientifiques et de gestion au sein des territoires français, montre ainsi qu'il serait urgent de mettre en place un observatoire intégré de l'environnement et du changement climatique aux Îles Éparses qui constituent un des rares écosystèmes insulaires de référence du fait des très faibles pressions anthropiques locales qu'elles subissent. Cet observatoire doit être conçu de façon à être validé et référencé selon les standards nationaux

Expérimentations

Si les communautés scientifiques travaillant sur les systèmes terrestres ont su mettre en place des moyens expérimentaux de premier plan sur l'île de La Réunion (CYROI, 3P...), les équipes de recherche travaillant dans le domaine marin ne disposent pas d'outils équivalents.

Certaines problématiques marines pourraient grandement être aidées par l'existence de dispositifs expérimentaux. Ainsi pour mieux comprendre les effets des changements globaux et locaux sur les écosystèmes coralliens, l'existence de dispositifs de type « mésocosmes ins-

Base de données

Il y a aussi un besoin de création/structuration de bases de données pour la région sud-ouest de l'océan Indien et d'intégration des données aux références mondiales.

et internationaux pour assurer la pérennité des observations sur le long terme.

A l'autre extrémité des gradients de pressions anthropiques, l'île de Mayotte est aussi un socio-écosystème pertinent pour abriter un observatoire interdisciplinaire de la dynamique socio-environnementale d'un territoire soumis à une forte croissance démographique menaçant son environnement et ses ressources terrestres et marines.

Ces observatoires impliquent une mobilisation amont des communautés scientifiques et des gestionnaires des territoires pour établir de façon conjointe les problématiques et questions auxquelles les observations mises en place devront répondre.

Comme cela a été noté dans l'inventaire des moyens, les communautés scientifiques travaillant sur les écosystèmes hauturiers et côtiers n'utilisent que de façon limitée les moyens navigants de la flotte océanographique française. Une réflexion devrait être engagée avec la Flotte océanique française pour que ce déficit soit analysé afin d'en comprendre les causes : est-ce par défaut de demandes, et si oui quelles en sont les raisons ? La disponibilité des navires est-elle suffisante ? Le positionnement des campagnes potentielles est-il un obstacle ? La localisation permanente d'un navire côtier est-elle souhaitable ?

trumentés » permettrait d'analyser les réponses des communautés à différents stressors en conditions contrôlées. Des approches et des moyens d'écologie expérimentale seraient aussi très utiles dans le domaine de l'ingénierie environnementale pour tester différentes options de réhabilitation de systèmes dégradés. L'aquaculture multitrophique intégrée (AMI) trouverait également un support pertinent pour sa mise en place et son développement par la construction de pilotes expérimentaux permettant de tester des associations d'espèces pour optimiser leur complémentarité trophique.

De nombreuses thématiques spécifiques ou transversales débouchent sur des questions dont les réponses dépendent de la capacité à assembler et croiser des données de nature différente. Les interactions hommes-milieu sont

au cœur des questions relatives aux risques et aux capacités d'adaptation, à la biodiversité *sensu lato* et ses déterminants, aux ressources et à leurs modes de gestion, à la vulnérabilité des socio-écosystèmes insulaires... Dans bien des cas et notamment à large échelle spatiale et/ou temporelle, les réponses à ces questions reposent sur la mise à disposition des données actuelles et à venir issues des travaux des différentes communautés scientifiques mais aussi de celles provenant des acteurs socio-économiques et des agences environnementales et spatiales nationales et internationales (e.g. INSEE, SEDAC,

OMM/WMO, USGS, banque mondiale, CEPIL,...). Cela pourrait se faire dans un premier temps via le Grand Observatoire de l'océan Indien dont l'objectif est d'être une « ombrelle » pour structurer une base de données en ciblant au départ les données des pays francophones de la région (COI). L'Unité mixte de service « Bases de données sur la biodiversité, écologie, environnement et sociétés » (UMS3468 BBEES, CNRS, MNHN) peut également être sollicitée pour contribuer à la création et l'interopérabilité de bases de données polymorphes issues de disciplines très différentes.

Modélisation et scénarisation

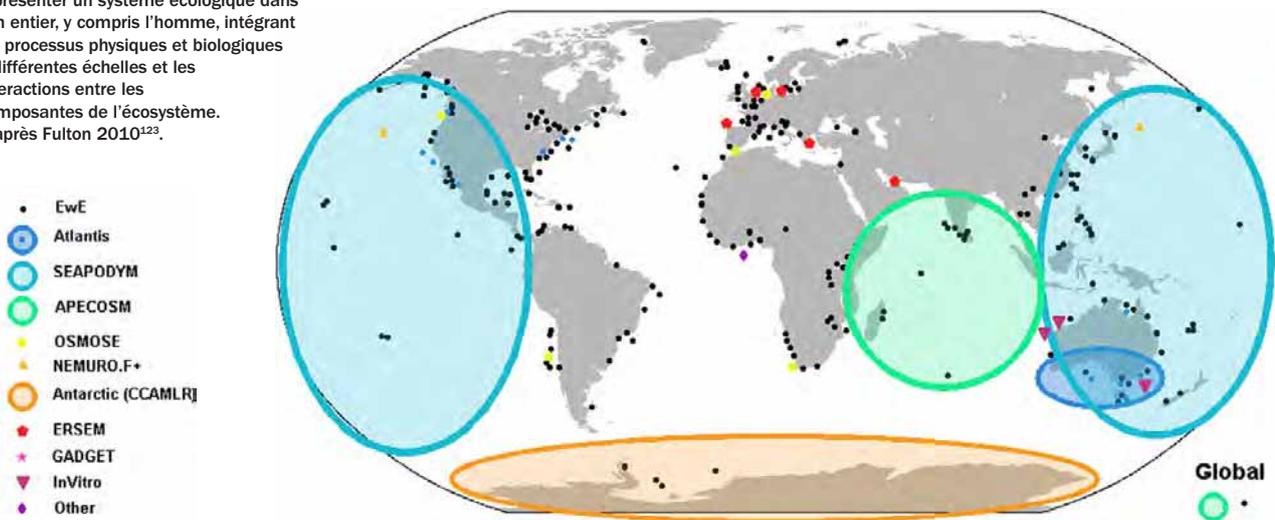
Dans de nombreux domaines la modélisation est un outil essentiel que ce soit pour analyser les bases de données ou pour synthétiser les connaissances sur les processus régissant le fonctionnement des systèmes. C'est aussi un outil de couplage des connaissances et des compétences permettant de simuler le devenir des composantes d'un système à la suite des modifications de ses variables de contrôle.

Dans de nombreux contextes de type exploratoire, l'utilisation des modèles numériques de type statistique est une étape incontournable pour analyser les relations de type variable à expliquer versus variables explicatives. Ce type de modélisation peut-être très utile, par exemple, pour identifier les variables de contrôle de certaines

réponses des systèmes complexes comme les socio-écosystèmes ou identifier les « bright spots » et les « dark spots » en leur sein, c'est-à-dire les systèmes qui répondent mieux ou moins bien qu'attendu étant donné les conditions environnementales ou les « drivers » auxquels ils sont exposés¹²². La diversité des socio-écosystèmes insulaires de la zone sud-ouest de l'océan Indien peut constituer un contexte particulièrement pertinent pour ce type de démarche.

Au-delà, les modèles visant à prédire l'effet de perturbations sur le dynamique des systèmes doivent incorporer les interactions directes et indirectes entre les différentes composantes des systèmes sous peine de réaliser des prédictions imprécises voire erronées.

Figure III-21. Sites sur lesquels des modèles « end-to-end » ont été mis en oeuvre. Cette catégorie de modèle vise à représenter un système écologique dans son entier, y compris l'homme, intégrant les processus physiques et biologiques à différentes échelles et les interactions entre les composantes de l'écosystème. D'après Fulton 2010¹²³.



122. Cinner, J. E., Huchery, C., MacNeil, M. A., Graham, N. A., McClanahan, T. R., Maina, J., ... & Allison, E. H. (2016) Bright spots among the world's coral reefs. *Nature*, 535(7612), 416-419.
 123. Fulton, E. A. (2010) Approaches to end-to-end ecosystem models. *Journal of Marine Systems*, 81(1), 171-183.

Dans ce contexte, la modélisation des propagations des perturbations et de leurs effets au sein du continuum du vivant implique de combiner les descripteurs physico-chimiques de l'environnement, et ceux relatifs aux différentes composantes d'un écosystème, des microorganismes à l'homme au sein de modèle de type « end-to-end »¹²³. Ce type de modèle n'a été que très peu développé dans la zone sud-ouest de l'océan Indien (Figure III-21), et ce n'est que récemment que ce type de modélisation a pu être appliqué dans la zone de l'upwelling du Benguela¹²⁴.

Si les besoins sont grands, les compétences régionales sont peu nombreuses et cela plaide pour une mise en réseau des compétences et leur renforcement.

Collaborations internationales

Le recensement, même non exhaustif, des supports de collaboration scientifique sur la région montre l'existence de réseaux très larges en ce qui concerne les questions des ressources agroalimentaires, de santé animale et humaine et de biodiversité. Il n'en est pas de même pour les problématiques relatives au milieu marin qui, si elle dispose de soutien programmatique, n'est que peu organisée en réseau de collaboration au delà de ceux impliqués dans la gestion des pêches. Le constat d'un environnement côtier et insulaire abritant une forte biodiversité, mais soumis à de multiples pressions, et accueillant un nombre croissant d'habitants, nécessiterait pourtant de mettre en place un réseau international d'observatoires interdisciplinaires pour mesurer l'évolution des pressions subies par les systèmes socio-écologiques et leurs réponses, apprécier les éventuelles mesures de réduction des pressions et/ou de réhabilitation des milieux.

Il serait donc essentiel dans le futur de favoriser les programmes de recherche en coopé-

L'élaboration de scénarios relatifs aux changements environnementaux, économiques et sociaux dans la zone apparaît comme une attente forte pour la communauté scientifique en regard du niveau de vulnérabilité/résilience des systèmes et des effets des pressions multiples locales et globales encore peu connus. Ces scénarios sont tout aussi indispensables pour les acteurs des territoires pour préparer l'évolution de leur gestion.

Que ce soit pour « nourrir » les futurs modèles afin qu'ils simulent les effets potentiels des changements futurs ou plus simplement pour aider à dresser une cartographie des risques, il est indispensable de créer des groupes de réflexion et de partage de connaissances interdisciplinaires à différentes échelles d'organisation des territoires concernés.

ration pour bénéficier de complémentarités thématiques et structurer le réseau des observatoires dans la région et de manière plus large en Afrique. Ce réseau peut être renforcé notamment avec le soutien du consortium EN-VRiplus (Common Operations of Environmental Research Infrastructures), plateforme multidisciplinaire dont l'objectif est d'améliorer la collaboration et l'interopérabilité dans les sciences de l'environnement. Ce consortium bénéficie du soutien financier du programme Horizon 2020 de l'Union européenne. Des appels à projets incitatifs ont été lancés récemment via l'OSU-R. Ces financements à travers de programmes de recherche font partis des moyens pour permettre à une communauté de se structurer. A une échelle plus large, l'initiative IIOE-2 (Second International Indian Ocean Expedition) (<http://www.iioe-2.incois.gov.in/>) est un programme scientifique majeur dans le domaine des recherches océanographiques et atmosphériques pour la période 2015-2020.



124. Travers-Trolet, M., Shin, Y. J., Shannon, L. J., Moloney, C. L., & Field, J. G. (2014) Combined fishing and climate forcing in the southern Benguela upwelling ecosystem: an end-to-end modelling approach reveals dampened effects. PLoS one, 9(4), e94286.



Déclaration de la communauté scientifique du WIOMSA à l'adresse de la COP21



Declaration from the WIOMSA Scientific Community to the UNFCCC COP21

We, a community of 500 coastal and marine scientists working in the Western Indian Ocean, meeting at the 9th biennial Scientific Symposium of the Western Indian Ocean Marine Science Association (www.wiomsa.org), make this Declaration to the 21st COP of the UNFCCC and to the global community, to call for decisive action on climate change by the world's political and business leaders.

1. OUR CONTEXT: Over the millennia, the peoples of the Western Indian Ocean region have developed a diversity of cultures characterized by a strong link to the sea, influenced by ocean currents and winds, and there is a rich history of trade and cultural exchange throughout the Indian Ocean.

Today, the marine and coastal environment of the Indian Ocean continues to play an important role in our culture. We derive a range of ecosystem services from its habitats including many types of fisheries, building materials and fuels, coastal protection, as well as recreation and tourism, which together contribute to the livelihoods and well-being of millions of people in our region. Many of our ecosystems contribute directly to global sequestration of carbon.

As an association of inter-disciplinary scientists, we recognize that humans are an integral part of natural ecosystems but we also observe how our activities affect and modify these ecosystems. We start the 21st century with a youthful and growing population, and it is our wish to bequeath to our children a world in which our maritime cultures and marine ecosystem-based livelihoods will continue to thrive and prosper.

2. THE PROBLEM: According to the 2015 State of the Coast Report for the WIO region, which was approved by the 8th Meeting of the Contracting Parties to the Nairobi Convention of the Western Indian Ocean, the region is facing significant challenges regarding the sustainability of its marine and coastal environments. These include many regional and local challenges, which our national and regional institutions are actively engaged in addressing. But crucially, we are also facing critical challenges that derive from global greenhouse gas emissions and the resultant effects of climate change. These challenges can only be overcome through global cooperation and international action.

From the perspective of the Western Indian Ocean, we, the marine science community, bear witness to the following:

- Declining provision of ecosystem services resulting from changes in species distributions and biology, including declines in key resource species and increasingly impoverished corals, seagrasses, and mangroves, which are the foundation of many ecosystems;
- An increase in destructive weather patterns including severe storms and warming temperatures. These have impacts on human communities, the burden of which is borne disproportionately by the poor, while our governments struggle to find the capacity to manage these impacts;
- Globally, 2015 is the hottest year on record, and we have observed a third large coral bleaching event in our region this year. Warming oceans, as a result of climate change, represent a significant threat to our coastal communities.



3. CLIMATE CHANGE is perhaps the most significant global challenge of the 21st century given how pervasive its effects are likely to be. It has been measured and documented by scientists from across the globe, and in almost every ecosystem and its effects are already observed and experienced by ordinary people the world over. The global scientific community is taking a prominent role in not only improving our understanding of the phenomena, but of communicating this understanding to policy makers and the general public, not least through the work of the IPCC. While, the 'Our Common Future under Climate Change' scientific conference of July this year provided an opportunity for scientists to collectively update and agree their core message on the eve of this COP.

Our message, as a community of scientists from the western Indian Ocean, is that greenhouse gas emissions and climate change have already affected the marine ecosystems that are so important to the people of our region. In fact, some ecologies and their associated social systems in this region are approaching a threshold - at which changes may become irreversible. We are profoundly concerned by the changes we have collectively observed and by the likely future impacts on ecosystem structure and function. We are even more concerned about the impact on society in eastern Africa and the islands of the Western Indian Ocean, and the undermining of individual and family aspirations for a better life.

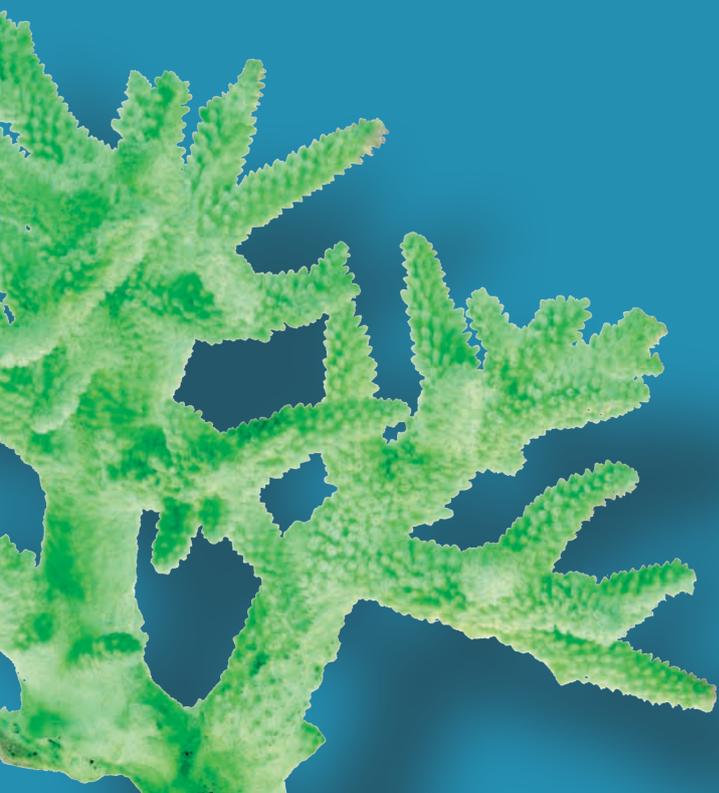
We submit, based on the collective body of our multi-disciplinary scientific research, that there are critical threats to the rich coastal and marine biodiversity of the Western Indian Ocean directly arising from climate change and that there will be significant negative implications for sustainable human development for the nations of the Western Indian Ocean.

4. THE UNFCCC COP 21 has the potential to be a watershed event for the future of our planet's ecology and for human society. And we therefore call upon the delegates to COP21, and their respective governments, to realize that potential and to reduce their dependence on industries and activities that emit greenhouse gases and to significantly increase their investment in the green/blue economy. Inspired leadership and creative solutions are urgently needed but while there is much to be concerned about, there is also hope and there is still opportunity.

Jacqueline Uku
WIOMSA President

Pascale Chabanet
WIOMSA Vice-President

On behalf of WIOMSA, the entire Western Indian Ocean Scientific Community and the friends of WIO region.



IV

RENCONTRE ENTRE LES PRIORITÉS DES ACTEURS TERRITORIAUX ET LES ENJEUX ET PROBLÉMATIQUES IDENTIFIÉS PAR LES SCIENTIFIQUES : CAS DES TERRITOIRES DE MAYOTTE ET DES ÎLES ÉPARSES



IV.1

Introduction

Un des objectifs initiaux de cette prospective était de croiser les enjeux et problématiques des scientifiques et ceux des acteurs gestionnaires des territoires français de l'océan Indien.

Le niveau d'analyse retenu a été celui des différentes problématiques énoncées par les gestionnaires des territoires de Mayotte et des Îles Éparses versus celui des projets de la commu-

nauté scientifique identifiés pour chacun de ces territoires dans les réponses à l'enquête réalisée auprès des laboratoires.

Il est bien évident que certaines des problématiques des gestionnaires des territoires n'ont pas d'attente vis à vis de la recherche car des supports opérationnels existent déjà pour y répondre.

IV.2

Mayotte



Tableau IV-1. Problématiques de développement durable énoncées par les gestionnaires du territoire de Mayotte les plus en lien avec des projets de recherche. Les chiffres dans le tableau indiquent le nombre de projets de recherche en lien avec la problématique territoriale.

Pas moins de 12 unités de recherche ont mentionné au moins un projet de recherche sur ce territoire. 18 projets de recherche y ont été identifiés. En regard des 51 problématiques territoriales recensées 20 d'entre-elles peuvent être considérées comme étant reliées de façon plus ou moins étroites avec les projets de recherche identifiés (tableau IV-1).

Les problématiques du territoire pour lesquelles le plus grand nombre de projets de recherche connexe est recensé sont celles relatives à la conservation du patrimoine naturel de Mayotte (espèces, habitats, connectivité, qualité de l'eau, ...). Ces problématiques sont très logiquement portées à la fois par la DEAL et par le PNMM. D'autres projets existent dans le domaine de l'écologie, de la santé ou des ressources, et les compétences qui leurs sont associées sont en phase avec au moins une partie des problématiques territoriales de la santé et des ressources agricoles et marines.

Parmi les problématiques du territoire qui ne sont pas associables à des projets de recherche, aucune n'est a priori en lien avec un besoin de recherche amont mais bien davantage avec un appui ou un conseil technique, une aide économique ou un besoin de formation. Le territoire de Mayotte dispose depuis peu de structures de formation plus étendues que par le passé, tel qu'un Centre universitaire de formation et de

recherche, qui pourront prendre en compte un certain nombre des besoins identifiés.

Sur la thématique du développement durable, les projets de recherche en cours ou envisagés à court terme sur Mayotte sont bien en phase avec les problématiques du territoire : les grandes thématiques de la biodiversité, de la santé, des ressources... sont tout autant celle des chercheurs que celle des acteurs des territoires.

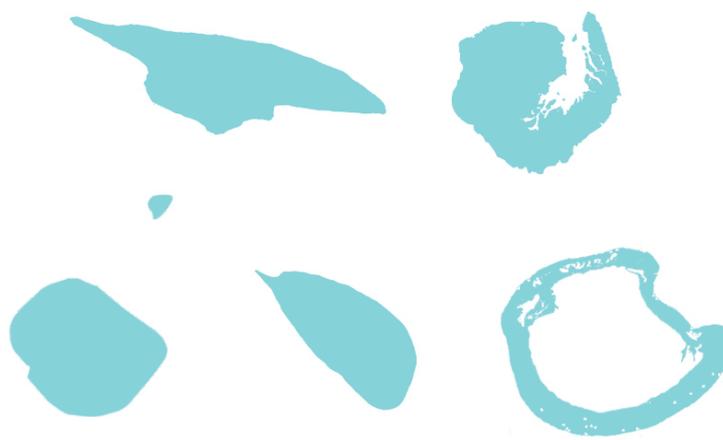
Cependant certains projets de recherche ne croisent pas les préoccupations actuelles des gestionnaires des territoires.

Ceux réalisés sur le lac Dziani sont emblématiques : les travaux menés sur la connaissance du fonctionnement de l'équivalent d'un paléo-environnement marin peuvent ne pas apparaître directement reliés aux urgences actuelles en termes de développement du territoire. Cependant, de tels travaux sont susceptibles de déboucher sur des valorisations inattendues et contribuer aux réponses des questions de demain.

Par ailleurs, les projets relatifs à l'évolution du niveau de la mer n'entrent en résonance avec aucune des problématiques territoriales. C'est une illustration très concrète du fait que les problématiques énoncées sur le territoire de Mayotte ne mettent pas en avant les forçages économiques, sociaux ou environnementaux qui sont en cause. Les notions de services écosystémiques et de leur vulnérabilité ou encore d'adaptation ne sont pas évoquées.

Administration	Enjeux	Problématiques	Thématique principale des projets de recherche						
			Biodiversité	Santé	Ressources	Hydrologie	SE	Patrimoine	Total
DEAL-Mayotte	Permettre un développement équilibré dans la durée	Comment assurer la conservation du patrimoine d'exception de Mayotte ?	5		1				
PNMM	Contribuer à la connaissance du patrimoine marin	Améliorer la connaissance et le suivi de la biodiversité et des habitats pour leur conservation et leur valorisation.	6						
PNMM	Contribuer à la protection du milieu marin	Préserver les espèces protégées, rares, emblématiques ou menacées.	5						
PNMM	Contribuer au développement durable du milieu marin	Obtenir une bonne qualité de l'eau dans le lagon de Mayotte.		1	2				
PNMM	Contribuer à la connaissance du patrimoine marin	Disposer localement - à Mayotte - de connaissances et de compétences.	2		1				
PNMM	Contribuer à la protection du milieu marin	Préserver les habitats et leur connectivité, de la côte aux espaces océaniques.	4						
ASOI-Mayotte	Développer la prévention et le dépistage précoce	Encourager l'innovation, les initiatives et les projets prometteurs.		3					
PNMM	Contribuer à la connaissance du patrimoine marin	Contribuer à la mise en place d'un observatoire « Glorieuses ».	2		1				
DEAL-Mayotte	Assurer le traitement des eaux usées de Mayotte	Comment traiter les eaux usées des zones denses existantes ?							
DEAL-Mayotte	Assurer le traitement des eaux usées de Mayotte	Comment traiter les eaux usées des zones peu denses et à venir ?							
ASOI-Mayotte	Améliorer l'offre de soins à Mayotte	Disposer d'une offre de diagnostic précoce accessible sur l'ensemble du territoire.		2					
ASOI-Mayotte	Développer la prévention et le dépistage précoce	Sécuriser ou adapter les milieux de vie.		2					
DAAF-Mayotte	Assurer l'approvisionnement de l'île en produits agricoles locaux	Augmenter la production et viabiliser les exploitations agricoles.			1				
PNMM	Contribuer au développement durable du milieu marin	Développer durablement les activités aquacoles, traditionnelles et de tourisme et loisirs.			1				
ASOI-Mayotte	Prévention et lutte contre la dengue et autres arboviroses	Prévention et lutte - Protection et lutte contre les moustiques vecteurs.		1					
ASOI-Mayotte	Santé publique	Eaux de baignades.		1					
ASOI-Mayotte	Surveillance des signaux sanitaires et prévention	Maladies d'origine hydrique.							
ASOI-Mayotte	Surveillance des signaux sanitaires et prévention	Prévention des maladies hydriques.							
DAAF-Mayotte	Protéger les milieux forestiers	Déforestation.			1				
PNMM	Contribuer au développement durable du milieu marin	Développer une activité de pêche professionnelle, écologiquement exemplaire et pourvoyeuse d'emplois et de produits de la mer pour Mayotte			1				

ASOI : Agence de Santé océan Indien ; DAAF : Direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt ; DEAL : Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement ; PNMM : Parc naturel marin de Mayotte / Parc naturel marin des Glorieuses ; SE : services écosystémiques.



IV.3

Les Îles Éparses

Le nombre de problématiques et de projets étant plus restreint, ils ont pu être reportés dans leur intégralité au tableau IV-2.

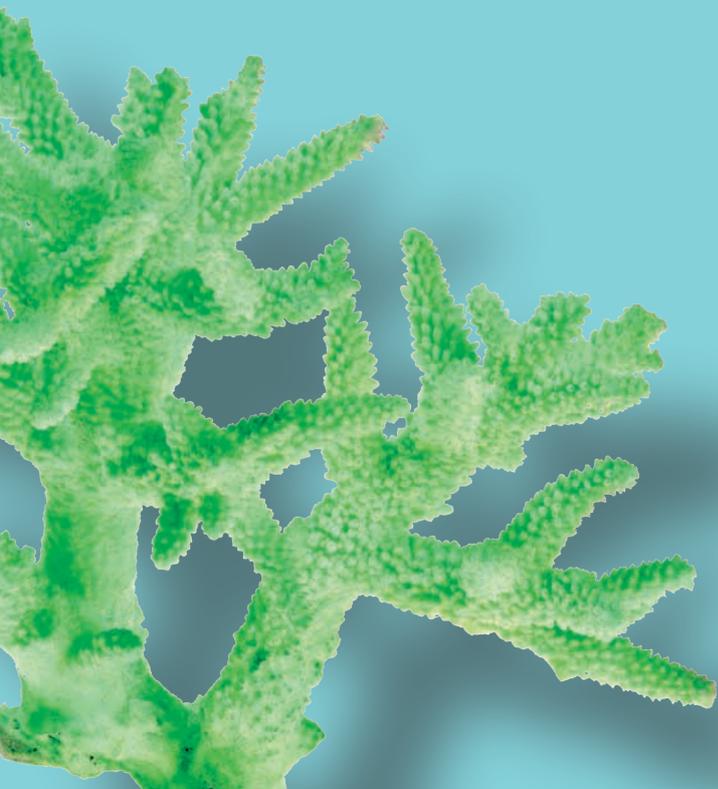
Au moins 9 unités de recherche ont indiqué développer des projets sur les Îles Éparses. Au total 12 projets ont pu être identifiés dans les réponses au questionnaire. La problématique qui associe très logiquement le plus de projets de recherche est celle consistant à connaître les écosystèmes et leur fonctionnement. La gestion, la conservation et la restauration de ces écosystèmes constituent la deuxième problématique associant plusieurs projets de recherche. Sur la base des réponses issues du questionnaire destiné aux laboratoires, plusieurs problématiques apparaissent « orphelines » de projets de recherche. Si pour certaines d'entre-elles, cela paraît normal, pour d'autres cela paraît plus étonnant comme pour les problématiques relatives au développement et à la gestion des ressources.

Considérés par la communauté scientifique impliquée dans les thématiques de la biodiversité *sensu lato*, comme des systèmes de référence, il est tout aussi important de dépasser l'aspect gestion et conservation de la biodiversité qui leur est naturellement associé, pour comprendre le rôle de « source » que peuvent constituer les biodiversités marines de ces îles à l'échelle de la région.

Comme pour le territoire de Mayotte, les questionnements ne sont pas explicitement orientés par les changements environnementaux attendus. Même si la pression anthropique locale est, et devrait rester très faible, les changements globaux n'épargneront pas les Îles Éparses et leurs écosystèmes terrestres et marins. Par contre leur positionnement géographique en fait des sites d'observation très pertinents pour mesurer l'évolution des changements d'origine climatique et leurs effets sur des biocénoses encore proches d'un état « naturel ».

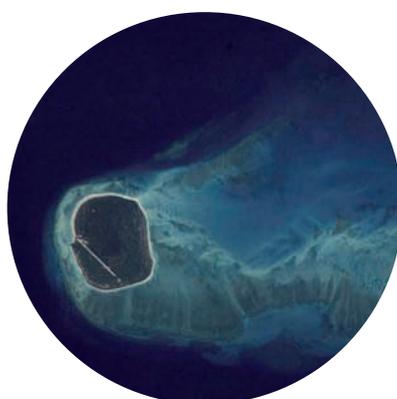
Administration	Enjeux	Problématiques	Thématique principale des projets de recherche						
			Paléoclimat	Niveau de la mer	Biologie marine	Inventaire, vulnérabilité coraux	AMPs Canal du Mozambique	Archéologie	Total
TAAF	Maintenir les écosystèmes dans un état de conservation exceptionnel	Connaître les écosystèmes et leur fonctionnement	1	2	2	2			7
		Gérer, conserver et restaurer les écosystèmes			1	2	1		4
		Endiguer la pratique d'activités illégales							0
	Gérer les ressources des territoires	Développer la pêche de manière durable							0
		Identifier les autres ressources							0
		Mettre en place un tourisme respectueux de l'environnement (= Ecotourisme)							0
	Améliorer la coopération régionale	Communiquer avec les pays voisins							0
		Mettre en place des stratégies communes de gestion					1		1

Tableau IV-2. Problématiques de développement durable énoncées par les gestionnaires du territoire des Îles Éparses et leurs liens potentiels avec des projets de recherche. Les chiffres dans le tableau indiquent le nombre de projets de recherche en lien avec la problématique territoriale.



V

CONCLUSIONS



Les données acquises à l'issue de l'enquête adressée aux unités de recherches ont montré notamment que (1) l'océan Indien mobilise une communauté scientifique importante, que (2) les équipes de recherche concernées sont fortement motivées si l'on en juge par le nombre et la diversité des projets réalisés ou en cours et que (3) les systèmes insulaires terrestres ou marins constituent le cadre privilégié de leurs travaux.

Si une grande diversité de compétences existe, certaines semblent encore peu présentes mais pourtant nécessaires en regard des enjeux socio-économiques.

Par ailleurs peu de projets ont à ce jour essayé de rassembler ces compétences pluridisciplinaires et les collaborations régionales pourraient être davantage développées en soutenant l'animation des réseaux existants ou en en créant de nouveaux.

Compte tenu des enjeux de développement durable des territoires du sud-ouest de l'océan

Indien et plus particulièrement de ceux des îles, il est essentiel que les travaux de recherche rejoignent les priorités des gestionnaires de ces territoires mais également qu'ils informent les acteurs des problématiques les moins visibles ou à plus long-terme.

Un des facteurs clefs de ce développement est et sera celui de protéger la formidable biodiversité des écosystèmes terrestres et marins de la région. De nombreux biens et services sont apportés quotidiennement aux sociétés de la région qui forment des socio-écosystèmes dont la vulnérabilité/résilience reste à évaluer et à comprendre. L'évaluation de leurs capacités d'adaptation constitue un challenge majeur pour projeter des scénarios d'évolution de ces socio-écosystèmes et de leurs composantes. L'exploration de ces capacités d'adaptation pourrait se faire de façon interdisciplinaire en analysant les réponses actuelles et passées des socio-écosystèmes aux forçages subis pour identifier ceux qui présentent de meilleures ou de moins bonnes performances qu'attendues.

En créant de vastes aires marines protégées, la France a manifesté sa volonté de sanctuariser des zones de biodiversité remarquables aussi bien dans des environnements à faible pression anthropique locale (les îles Éparses) ou plus forte (Mayotte). Ce contexte offre à la communauté scientifique la possibilité d'aborder de multiples thématiques qui reposent sur l'existence et la connaissance de systèmes peu ou pas impactés par les activités humaines permettant des approches comparatives. Il offre également un support unique pour comprendre les effets des changements climatiques sur les écosystèmes de la région. Ce contexte permettrait aussi de considérer si et comment les AMP permettent d'« ensemercer » les aires non protégées soumises à des fortes pressions de prélèvement et/ou de dégradation.

Les liens entre terre et mer et les écosystèmes d'interface qu'ils façonnent sont insuffisamment connus. Dans la plupart des territoires de la région, les mesures de protection de la diversité marine associées aux systèmes insulaires habités peuvent s'avérer inopérantes si une politique de gestion efficace de leurs bassins versants et donc d'usage des sols et de traitement des

eaux usées n'est pas mise en œuvre. Il s'agit là encore de promouvoir des approches intégrées considérant le continuum terre-mer pour comprendre l'impact des activités insulaires sur l'état sanitaire et écologique de leur environnement direct et plus lointain.

Que ce soit pour protéger leurs richesses naturelles, s'adapter aux changements socio-économique et environnementaux à court ou long terme, gérer leur territoire, de grandes inégalités existent entre les pays riverains de la région et entre les îles souveraines et non souveraines : des démographies contrastées, des niveaux de ressources naturelles et économiques très différents, des droits et des devoirs déséquilibrés... Il existe donc un champ très vaste de coopération régionale pour partager les actions de recherche et leurs résultats, les moyens, les compétences et les expériences afin d'œuvrer à un développement durable régional qui s'appuie non seulement sur une meilleure connaissance et gestion des socio-écosystèmes et de leurs composantes mais aussi sur un investissement dans une recherche interdisciplinaire intégrant les continuums sociaux, économiques et environnementaux.



LEXIQUE

AAMP	Agence des Aires Marines Protégées	Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploration de la mer
AAP	Aires Africaines Protégées	IIOE-2	International Indian Ocean Expedition
ABNJ	Areas Beyond National Jurisdiction	INC	Institut de Chimie du CNRS
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie	INEE	INstitut Ecologie et Environnement du CNRS
AGNU	Assemblée Générale des Nations Unis	INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
AMG/MMA	Aires Marines Gérées/ Marine Managed Area	INRAP	Institut National de Recherches Archéologiques Préventives
AMGL / LMMA	Aire Marine Gérée Localement/ Locally Managed Marine Area	INSB	INstitut des Sciences Biologiques du CNRS
AMTI	Aquaculture MultiTrophique Intégrée	INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
AMP/MPA	Aire Marine Protégée/ Marine Protected Area	INSHS	INstitut des Sciences Humaines et Sociales du CNRS
ANR	Agence Nationale de la Recherche	INSU	Institut National des Sciences de l'Univers du CNRS
APA	Accès et Partages des Avantages (issus des ressources génétiques)	IPBES	Intergovernmental Platform on Biodiversity & Ecosystem Services
ARS-OI	Agence Régionale de Santé océan Indien	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
BBNJ	Biodiversity Beyond National Jurisdiction	IPEV	Institut polaire français Paul-Emile Victor
BEST	voluntary scheme for Biodiversity and Ecosystem Services in Territories of european overseas	IRD	Institut de Recherche pour le Développement
BIOPAMA	Biodiversity and Protected Area Management Programme	LabEx	Laboratoire d'Excellence
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières	MDG	Millenium Development Goals
CBO	Community Based Organisation	MEA	Millenium Ecosystem Assessment
CCMALR	Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Ressources	MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle
CDB	Convention sur la Diversité Biologique	OMM/WMO	Organisation Météorologique Mondiale/ World Meteorological Organization
CEPII	Centre d'étude et de recherche en économie internationale	ONG	Organisation Non Gouvernementale
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement	ONU	Organisation des Nations unis
CITES	Convention sur la commerce International des Espèces de faune et de flore Sauvages menacées d'extinction	ORE	Observatoire de Recherche en Environnement
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique	PIB/GDP	Produit Intérieur Brut/ Gross Domestic Product
COI	Commission de l'Océan Indien	PIED/SIDS	Petits Etats insulaires En Développement/ Small Island Developing States
CPER	Contrat de Plan Etat-Région	PMA	Pays les Moins Avancés
CRVOI	Centre de Recherche et de Veille sur les maladies émergentes de l'Océan Indien	PNMM	Parc naturel marin de Mayotte / Parc naturel marin des Glorieuses
CTOI/ IOTC	Commission des Thons de l'océan Indien/ Indian Ocean Tuna Commission	PNUE/UNEP	Programme des Nations Unis pour l'Environnement/United Nations Environment Programme
CUFR	Centre Universitaire de Formation et de Recherche	PTOM	Pays et Territoires d'Outre Mer
CYROI	Cyclotron Réunion Océan Indien	RSCOR	Regional State of the Coast Report
DAAF	Direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt	RUP	Régions Ultra-Périphériques
DCP	Dispositif de Concentration de Poissons	SEC	South Equatorial Current
DEAL	Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement	SEDAC	Socioeconomic Data and Applications Center
DIECCTE	Direction régionale des Entreprises de la Concurrence, de la Consommation, du Travail et de l'Emploi	SES	Socio-EcoSystèmes
DPSIR	Drivers Pressures States Impact Responses	SHOM	Service Hydrographique de la Marine
EA	Equipe d'Accueil	SIH	Système d'Information Halieutique
EBSA	Ecologically or Biologically Significant Marine Area	SIOFA	Southern Indian Ocean Fisheries Agreement
ENVRIplus	ENVironmental and Earth System Research Infrastructures	SNO	Service National d'Observation
ETP	Equivalent temps-plein	Taaf	Terres australes et antarctiques françaises
FAZSOI	Force Armées de la Zone Sud-Ouest de l'océan Indien	UE	Union Européenne
FFEM	Fond Français pour l'Environnement Mondial	UICN / IUCN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature/International Union for the Conservation of Nature
GCRMN	Global Coral Reef Monitoring	UMI	Unité Mixte Internationale
GIS	Groupement d'Intérêt Scientifique	UMR	Unité Mixte de Recherche
GIZC	Gestion Intégrée de la Zone Côtière	UMS	Unité Mixte de Service
IDDRI	Institut pour le Développement Durable et les Relations Internationales	USGS	United States Geological Survey
IDH/HDI	Indice de développement humain/Human Development Index	WCMC	World Conservation Monitoring Center
		WIO	Western Indian Ocean
		WIOMSA	Western Indian Ocean Marine Science Association
		ZAJN	Zone au-delà de la Jurisdiction Nationale
		ZEE/EEZ	Zone d'Exclusion Economique/Exclusive Economic Zone
		ZIEB	Zone d'Importance Ecologique et Biologique
		ZSO	Zone Sud-Ouest (de l'océan Indien)
		3P	Pôle de Protection des Plantes



Crédit photos/Illustrations : Pascale Chabanet - K. Handaza/AMP - Julien Leblond - Oscar Hagen - Julien Wickel - Sascha Wittkowski - © CNRS Photothèque/HERD : Nicolas Cegalerba - Jean Louis Cheminée - Claude Delhaye - Axel Ducourneau - Gaëlle Fornet - Hervé Fritz - Jean-Yves Georges - Jérôme Mathieu - Marc Troussellier - Thomas Vignaud - © Bruno Garel / Agence française pour la biodiversité - © Fotolia - © Wikicommons