

# Chapitre 1. Tendances et diversité des écosystèmes marins de l'Atlantique tropical

Arnaud Bertrand et Martin Zimmer

---

## NOTE DE L'ÉDITEUR

Sous la coordination de Arnaud Bertrand et Martin Zimmer. Ont également contribué à ce chapitre : Corrine Almeida, Moacyr Araujo, Christophe Barbraud, Sophie Lanco Bertrand, Rebecca Borges, Andrea Z. Botelho, Timothée Brochier, Ana Carvalho, Liliana Carvalho, Daniela Casimiro, Ana C. Costa, Alex Costa da Silva, Hervé Demarcq, Malick Diouf, Gilles Domalain, Paulo Duarte, Éric Dutrieux, Werner Ekau, Beatrice P. Ferreira, Thierry Frédou, Flavia Lucena Frédou, Daniela Gabriel, Lucy G. Gillis, José Guerreiro, Fabio Hazin, Hélène Hegaret, Véronique Helfer, Ariane Koch-Larrouy, François Le Loc'h, Alciany da Luz, Inês Machado, Vito Melo, Albertino Martins, Vitor Paiva, Jaime Ramos, Pedro Raposeiro, Osvaldina Silva, Pericles Silva, Philippe Soudant, Modou Thiaw, Yoann Thomas, Sébastien Thorin, Paulo Travassos, Humberto L. Varona et Maria Anunciação Ventura.

## Introduction

- 1 Les écosystèmes marins sont constitués d'une mosaïque de sous-systèmes interconnectés. Par exemple, la productivité générée dans une région donnée peut influencer des mangroves séparées par des dizaines ou des centaines de kilomètres. La physique détermine les échanges entre ces sous-systèmes (par exemple, le transport des larves depuis les zones d'éclosion jusqu'aux nourriceries) et des processus hydrologiques et environnementaux complexes influencent le cycle de vie des espèces marines, régissant leur distribution spatiotemporelle et façonnant les assemblages faunistiques. L'intégrité d'un sous-système peut ainsi déterminer celle d'un autre. Une

décision humaine prise à un endroit peut avoir un impact dramatique sur un sous-système marin éloigné. Les politiques de gestion, qui sont aujourd'hui fragmentées et sectorielles, doivent tenir compte de la connectivité physique et écologique entre les sous-systèmes. Cet aspect est particulièrement important à l'heure actuelle, car les activités humaines ont un impact direct sur l'intégrité des écosystèmes et un impact indirect par le biais du réchauffement climatique d'origine anthropique.

- 2 Dans ce contexte, la planification spatiale marine (PSM), qui vise à organiser et à harmoniser la diversité des activités humaines dans les environnements marins et côtiers, doit reconnaître et prendre explicitement en compte la dynamique des écosystèmes. Au-delà de la reconnaissance de la diversité des parties prenantes et de la compréhension de leurs besoins et exigences, des informations spatialement explicites sur la disponibilité des ressources et processus naturels respectifs sont d'une importance capitale pour une PSM efficace. Malgré la disponibilité de vastes ensembles de données à long terme sur les processus océanographiques (par exemple, Pirata<sup>1</sup>), une vue globale des côtes et des mers côtières de l'Atlantique tropical ainsi que de leurs ressources naturelles fait toujours défaut. Ce chapitre vise à rassembler et à résumer les informations sur les ressources naturelles marines et côtières et leur état d'utilisation et d'exploitation pour des études de cas dans l'Atlantique tropical occidental (Brésil) et oriental (Cabo Verde<sup>2</sup>, Sénégal) (pour un rapport plus exhaustif, voir BERTRAND et ZIMMER, 2019). Même s'il est loin d'être exhaustif, ce chapitre offre quelques clés pour une meilleure compréhension des processus en jeu.

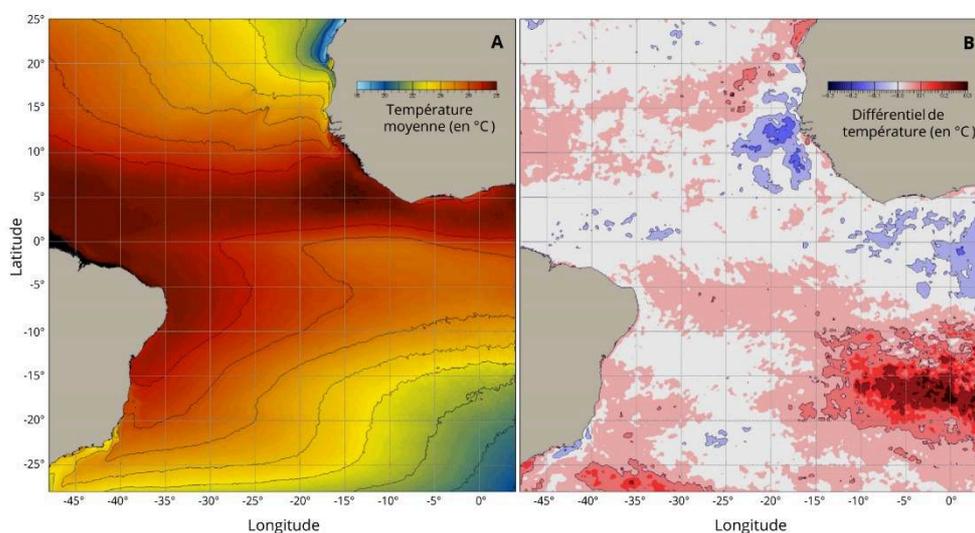
## Tendances générales des conditions océanographiques dans l'Atlantique tropical

- 3 L'Atlantique tropical est caractérisé par une ceinture de température de surface de la mer (TSM) élevée ( $> 27^{\circ}\text{C}$ ), centrée à  $5^{\circ}\text{N}$  dans la partie occidentale. Les masses d'eau de surface chaudes s'étendent sur une plage allant de  $15^{\circ}\text{N}$  à  $15^{\circ}\text{S}$  dans l'Atlantique occidental, dominant ainsi les eaux côtières de l'Est et du Nord-Est du Brésil (fig. 1A). La région sénégalo-mauritanienne présente une TSM moyenne comparativement faible ( $< 19^{\circ}\text{C}$ ), tandis que la zone du Cabo Verde affiche une TSM de  $25\text{-}26^{\circ}\text{C}$ , provenant du contre-courant nord-équatorial/courant mauritanien (dôme de Guinée). Le réchauffement observé de 1985 à 2007 (DEMARCO, 2009) dans l'Atlantique tropical ouest a été fortement atténué au cours des deux dernières décennies (fig. 1B). Un refroidissement notable est observé dans les régions sénégaleses et guinéennes et à Cabo Frio au Brésil. D'autres régions, dont le nord-est du Brésil, ne présentent aucun réchauffement ou seulement un réchauffement modéré ( $< +0,05^{\circ}\text{C}$  par décennie). Le refroidissement observé dans les zones d'*upwelling* semble illustrer la remontée d'eaux riches en nutriments entraînant une augmentation de la biomasse phytoplanctonique (fig. 2A). Cette tendance positive de la productivité a été encore plus intense au cours des 16 dernières années (fig. 2B). Une tendance positive modérée des TSM a été observée dans la région équatoriale, où le refroidissement oriental est associé à une légère augmentation de la chlorophylle a près de l'équateur. Enfin, la tendance temporelle de la productivité ne présente pas de schéma clair le long de la côte nord-est du Brésil, avec une légère augmentation côtière lorsque l'on considère la période complète (1998-2018), mais une diminution modérée au cours des 16 dernières années (2003-2018). Cette divergence peut être due à l'utilisation de deux capteurs satellitaires

pendant la période 1998-2018 (fig. 2A) contre un seul capteur pendant la période 2003-2018 (fig. 2B).

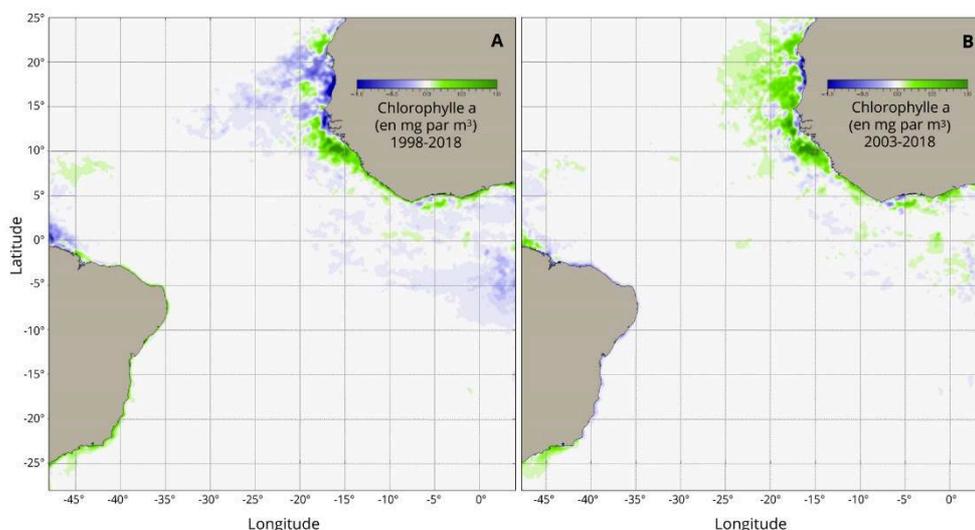
- 4 La ceinture tropicale est considérée en tant que telle comme la zone la plus vulnérable de la planète face aux défis du changement climatique. Une diminution des précipitations a été observée, par exemple, dans le nord-ouest de l'Afrique et dans l'arrière-pays de la côte nord-est du Brésil (Ipcc, 2014a), et un réchauffement important des océans est attendu dans de grandes parties de l'Atlantique tropical (fig. 1A et 1B). Ces changements de la température de l'eau obligeront de nombreuses espèces à se déplacer vers les pôles ou dans des eaux plus profondes pour survivre, ou à modifier considérablement leur comportement, ce qui entraînera des extinctions locales et des déplacements d'aires de répartition qui auront un fort impact sur la structure trophique des écosystèmes et leur surplus de production disponible pour les pêcheries.

**Figure 1.** Température moyenne (A) et différences de température (B) de la surface de la mer (SST) dans l'Atlantique tropical pour la période 1998-2018



Source des données : capteur AVHRR SST (*advanced very high resolution radiometer*) (pathfinder v5.3), données SST de nuit et de jour combinées

**Figure 2.** Tendances de la concentration en chlorophylle a dans l'Atlantique tropical pour les périodes 1998-2018 (A) et 2003-2018 (B)



Source des données : SeaWiFS (*sea-viewing wide field-of-view sensor*) (période 1998-2007) et Modis (*moderate-resolution imaging spectroradiometer*) (période 2003-2018)

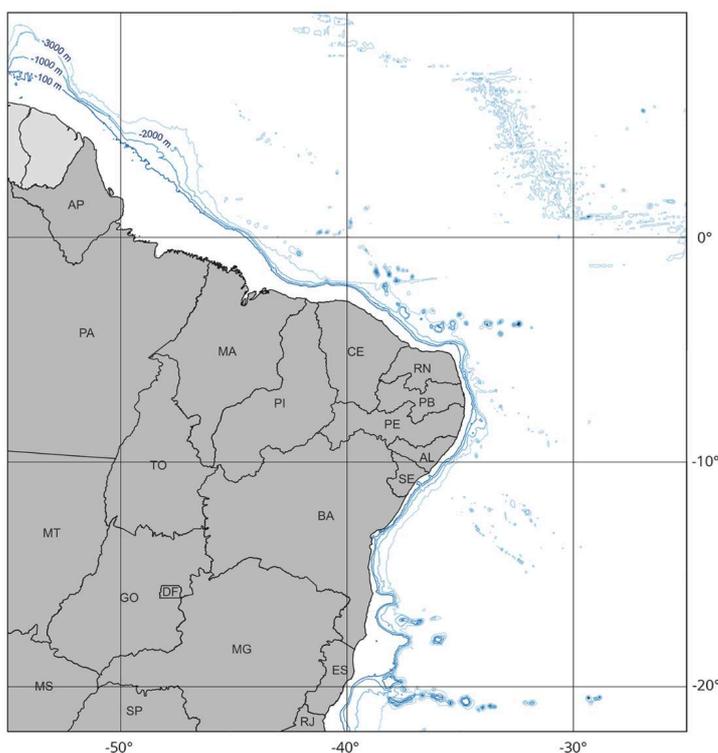
## L'Atlantique tropical : une diversité d'écosystèmes

- 5 L'Atlantique tropical est petit par rapport au géant du Pacifique. Pourtant, il englobe une variété de systèmes aux caractéristiques diverses. En particulier, les trois systèmes considérés ici, c'est-à-dire le Nord-Est du Brésil, l'archipel du Cabo Verde et le système du courant des Canaries, diffèrent considérablement dans leurs caractéristiques et leurs niveaux de connaissance et d'information. Nous fournissons ici quelques éléments de contexte pour chaque système qui peuvent aider à la compréhension des autres chapitres de ce manuel.

### La côte nord-est du Brésil

- 6 La côte nord-est du Brésil, qui s'étend de l'État de Bahia au Maranhão (fig. 3), est caractérisée par une TSM élevée (26 à 30 °C, ASSUNÇÃO *et al.*, 2020) et une faible productivité, principalement due à l'influence des eaux tropicales oligotrophes. Elle présente une diversité et un endémisme assez élevés, même s'ils sont beaucoup plus faibles que dans la région des Caraïbes (TOSETTO *et al.*, 2022). Cette région présente un étroit plateau continental de 45 à 60 km dominé par des fonds sableux et rocheux (VASCONCELLOS *et al.*, 2011 ; EDUARDO *et al.*, 2018). Les formations récifales coralliennes sont caractéristiques de cette région, et les pêcheries associées à cette zone se concentrent sur les formations récifales distribuées le long du plateau continental jusqu'au talus continental et sur les bancs océaniques (FERREIRA *et al.*, 1998 ; FERREIRA et MAIDA, 2001 ; EDUARDO *et al.*, 2018). Cependant, dans le cadre du changement global, les récifs brésiliens pourraient subir un déclin massif de la couverture corallienne dans les 50 prochaines années et pourraient s'éteindre en moins d'un siècle (FRANCINI-FILHO *et al.*, 2008).

Figure 3. Bathymétrie des côtes nord et nord-est du Brésil



États brésiliens : AL : Alagoas ; AP : Amapá ; BA : Bahia ; CE : Ceará ; DF : Distrito Federal ; ES : Espírito Santo ; GO : Goiás ; MA : Maranhão ; MG : Minas Gerais ; MS : Mato Grosso do Sul ; MT : Mato Grosso ; PA : Pará ; PB : Paraíba ; PE : Pernambuco ; PI : Piauí ; RJ : Rio de Janeiro ; RN : Rio Grande do Norte ; SE : Sergipe ; SP : São Paulo ; TO : Tocantins.

La ligne bleue pleine montre la bathymétrie à 100 m, 1 000 m, 2 000 m et 3 000 m.

Source : A. Bertrand, M. Zimer d'après les données bathymétriques ETPOPO (<https://sos.noaa.gov/catalog/datasets/etopo1-topography-and-bathymetry/>)

- 7 Les estuaires sont des écosystèmes prééminents de la côte brésilienne (LANA et BERNADINO, 2018). En tant que zones économiquement importantes de nourricerie et d'alimentation pour de nombreuses espèces de poissons côtiers, ils constituent la base des moyens de subsistance de nombreux pêcheurs le long de la côte. Les activités d'aquaculture marine sont concentrées dans le Ceará et le Rio Grande do Norte, représentant près de 80 % de la production totale du Nordeste brésilien. Plus au nord, jusqu'à l'embouchure de l'Amazone, les côtes et les estuaires sont souvent occupés par des forêts de mangroves denses, implantées dans des sédiments vaseux. La zone de mangrove au sud de l'Amazone est l'un des deux plus grands habitats continus de mangrove au monde, et la biomasse aérienne par unité de surface de ces mangroves est plus élevée que dans la plupart des autres régions de l'Atlantique tropical et subtropical. En raison de la forte turbidité des eaux côtières, les zones peu profondes sont pauvres en herbiers marins ou en récifs coralliens.
- 8 Le Nord-Est est l'une des régions côtières les plus densément peuplées du Brésil, l'État de Pernambuco se distinguant comme l'épicentre de cette concentration. Dans cette région, l'urbanisation des dernières décennies, principalement due à la pollution domestique et à l'activité industrielle, a entraîné la dégradation des écosystèmes côtiers, tels que les mangroves, les herbiers marins et les récifs coralliens, le plus gravement autour du principal centre urbain, Recife. L'occupation et l'expansion humaines ont altéré la qualité de l'eau et la biodiversité aquatique avec l'élimination

des mangroves, des changements dans la structure trophique de l'écosystème, l'élimination des sites de frai et de nurserie, la diminution de la biodiversité, les infections par des agents pathogènes, l'augmentation des charges parasitaires chez les espèces commercialement importantes et l'accumulation de mercure (VIANA *et al.*, 2010, 2012 ; LOPES *et al.*, 2019).

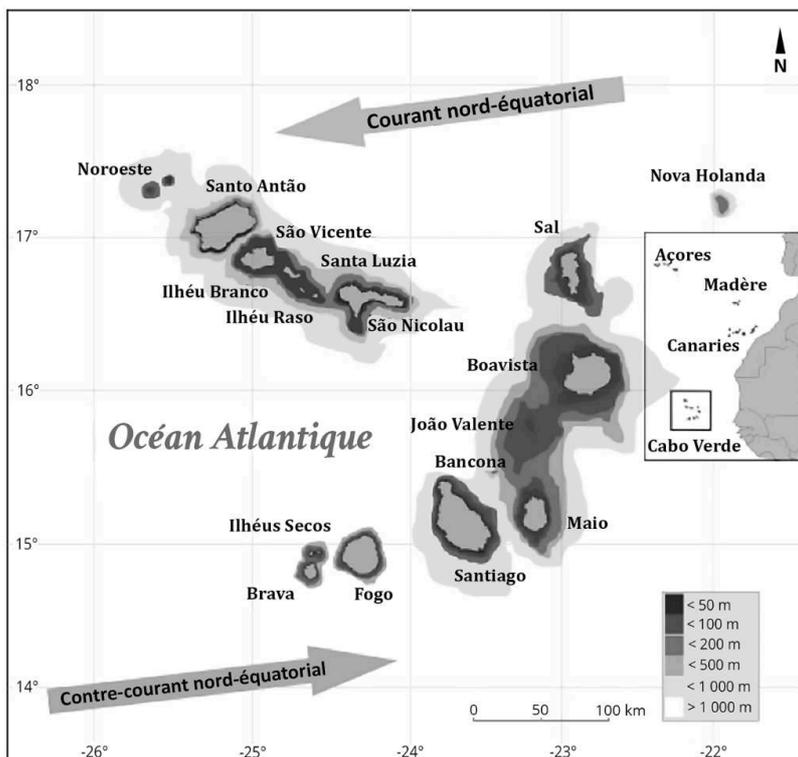
- 9 Au Brésil, la pêche artisanale ou petite pêche représente plus de 90 % des emplois dans le secteur de la pêche. En 2011, près de 600 000 pêcheurs étaient directement engagés dans des activités de pêche à plein temps au sein de flottilles de pêche composées de navires de moins de 12 m de long. La pêche artisanale est concentrée le long des côtes nord et nord-est, tandis que la majeure partie de la flotte de pêche industrielle est concentrée dans le sud du Brésil (VASCONCELLOS *et al.*, 2011). Le Brésil présente un bilan médiocre en matière de gestion des pêches, et plusieurs stocks sont confrontés à la surexploitation et à l'absence de gestion systématique (GASALLA *et al.*, 2017). La faiblesse de la gouvernance, l'érosion des systèmes traditionnels d'utilisation des ressources, l'accès incontrôlé aux ressources naturelles, la pauvreté, le manque d'emplois alternatifs et l'accès facile à des stocks dont les coûts d'investissement et d'exploitation sont faibles ont favorisé la surpêche et exacerbé les changements induits par le climat dans la pêche artisanale (GASALLA *et al.*, 2017). L'épuisement continu des ressources halieutiques et la dégradation environnementale des zones côtières affectent particulièrement cette dernière. Les stratégies gouvernementales actuelles semblent inefficaces pour surmonter les obstacles qui entravent le développement durable des communautés de pêcheurs artisanaux le long de la côte brésilienne.
- 10 Les réserves marines extractives représentent l'effort le plus important soutenu par le gouvernement pour protéger les ressources de propriété commune dont dépendent les pêcheurs traditionnels à petite échelle. Elles appartiennent généralement à l'État, mais les droits d'accès et d'utilisation, y compris l'extraction des ressources naturelles, sont attribués à des groupes ou à des communautés locales. Les réserves extractives marines profitent à quelque 60 000 pêcheurs artisanaux le long de la côte, même si leur efficacité est entravée par une faible application de la loi et des pressions anthropiques et économiques, notamment le tourisme (SANTOS et SCHIAVETTI, 2014 ; BERTRAND *et al.*, 2018). En outre, le Brésil est une région pauvre en données en matière de pêche. Les statistiques brésiliennes sur les pêches ne sont plus communiquées depuis 2011 (2007 pour les statistiques détaillées), date à laquelle le système existant a été progressivement démantelé et non remplacé. Le manque global d'informations sur ces pêches est un problème subsidiaire qui donne une faible visibilité politique au secteur et contribue ainsi à perpétuer son statut (VASCONCELLOS *et al.*, 2011). Il s'agit d'un obstacle sérieux pour le développement d'une planification efficace de l'espace marin.

## Cabo Verde

- 11 L'archipel du Cabo Verde fait partie, avec les Açores, Madère, les Selvagens et les îles Canaries, de la Macaronésie, qui est située dans l'océan Atlantique Nord, près de la côte ouest-africaine et de la région ouest-méditerranéenne. L'archipel s'étend sur 58 000 km<sup>2</sup> d'océan et possède environ 1 050 km de côtes. Il se compose de dix îles volcaniques divisées en deux groupes : (1) groupe Barlavento (au vent), qui comprend les îles Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal et Boa Vista, ainsi que les îlots Raso et Branco ; (2) le groupe Sotavento (sous le vent), au sud, qui comprend les

îles Maio, Santiago, Fogo et Brava et les trois îlots appelés Rombos – Grande, Luís Carneiro et Cima (fig. 4).

Figure 4. Archipel du Cabo Verde



SOURCE : MEDINA *et al.* (2007)

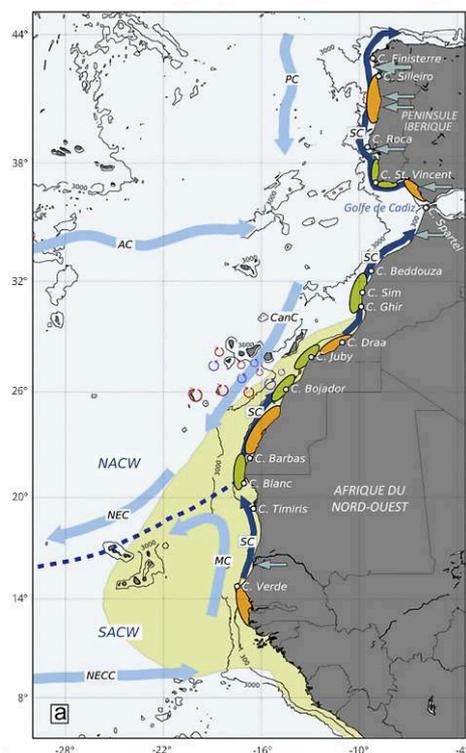
- 12 Les îles océaniques déclenchent des processus physiques complexes augmentant la production primaire et concentrant les niveaux tropicaux élevés. Ce mécanisme, connu sous le nom d'effet de masse insulaire (DOTY et OGURI, 1956), crée une multiplicité d'habitats d'une grande richesse faunistique et floristique. Néanmoins, la biodiversité est naturellement restreinte aux limites géographiques étroites des îles et est extrêmement vulnérable aux perturbations causées par les activités humaines (DUARTE et ROMEIRAS, 2009). Les études scientifiques sont encore en cours et il reste beaucoup à découvrir sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes capverdiens.
- 13 Le poisson est la principale source de protéines animales des habitants du Cabo Verde. Même si la pêche ne contribue qu'à environ 5 % du produit national brut (PNB), le secteur emploie près de 11 000 personnes et est important pour l'économie, notamment en termes d'exportation, en atteignant le record de 84 % des exportations nationales en 2014 (INE, 2018). Le thon est l'espèce pêchée la plus rémunératrice au Cabo Verde, représentant plus de 80 % des captures industrielles jusqu'en 1991. Le thon est le poisson le plus exporté (43 % des exportations), suivi par les formes transformées de maquereau (40 %). Le secteur de la pêche est souvent divisé en deux catégories distinctes selon la destination des captures et le type de navire : la pêche artisanale, responsable de l'approvisionnement décentralisé en poissons des communautés locales et des îles, et la pêche industrielle, pour l'exportation, l'approvisionnement du marché des conserves et des principaux centres urbains de consommation de poissons au niveau national.

- 14 Le Cabo Verde dépend fortement du trafic maritime pour le transport de biens et de services entre les îles, ainsi qu'à l'intérieur et à l'extérieur du pays. Les activités de soutage et de chantier naval, qui ont le potentiel de se développer, peuvent accroître les risques pour l'environnement et la santé publique. Le dragage semi-industriel ou industriel dans les zones côtières est principalement lié à la construction ou à l'agrandissement des ports (MONTEIRO ET RAMOS, 2014). Les autres rares zones de dragage qui existent dans les fonds marins sont toutes situées à côté du littoral. Comme de grands bancs de sable sont présents sur de nombreuses îles, les zones de dragage du pays sont principalement situées sur les plages et dans les lits d'eau douce. Les activités d'extraction de sable ont commencé le long des côtes des îles de Maio et Fogo, mais cette activité a été interrompue en raison des menaces qu'elle fait peser sur la biodiversité marine (CORREIA, 2012), un fait déjà signalé par la Commission européenne en 2010.
- 15 La Banque mondiale considère le tourisme comme l'un des investissements les plus importants pour l'avenir du Cabo Verde. Si le pays veut faire du tourisme un contributeur majeur du produit intérieur brut (PIB), il devra s'attaquer à des problèmes clés comme l'assainissement, la gestion des déchets et l'extraction illégale de granulats. En 2000, le secteur du tourisme ne représentait que 6,4 % du PIB. Il est ensuite passé à 16 et 22 % en 2010 et 2018 respectivement (BCV, 2018). Cette augmentation du tourisme a exercé des pressions supplémentaires sur les habitats côtiers et marins. Pour faire face à cette réalité, le Pana II (Plano de Acção Nacional para o Ambiente, 2004) contient une série de programmes et d'études planifiés visant à valoriser et à conserver la biodiversité du Cabo Verde, et qui peuvent être utilisés pour définir une stratégie de tourisme durable (par exemple, REINA, 2015).

### **Systeme d'*upwelling* du courant des Canaries**

- 16 Le système du courant des Canaries est l'un des principaux systèmes d'*upwelling* de la frontière orientale de l'océan mondial (FRÉON *et al.*, 2009). La partie africaine du système de courant des Canaries couvre la zone économique exclusive du Maroc, de la Mauritanie, et couvre de façon saisonnière la zone au large du Sénégal, de la Gambie, de la Guinée-Bissau et peut exceptionnellement s'étendre dans les eaux guinéennes (fig. 5). La largeur du plateau continental varie de 50 à 150 km, les plus grandes parties étant situées au large du Sahara occidental/du sud du Maroc et au sud du Cabo Verde (fig. 5). Deux grandes cellules d'*upwellings* quasi permanents, situées au Cap Ghir (~30° 38' N) et au Cap Blanc (~21° N), exportent les eaux de surface vers le large. Entre ces deux caps, d'autres *upwellings* se trouvent couramment au Cap Juby (~27° 56' N), au Cap Boujdor (~26° 12' N) ou entre les deux (BARTON *et al.*, 1998). Il existe cependant de nombreux cas où il n'y a pas d'activité d'*upwelling* dans cette région (ARISTEGUI *et al.*, 1994). Un *upwelling* saisonnier est également présent au large du Cabo Verde (~14° 30' N), lorsque les alizés favorisent l'*upwelling* dans cette zone. L'*upwelling* est saisonnier dans la partie nord du système (du nord du Maroc à ~28° N), permanent dans sa partie centrale (~21-28° N) et à nouveau saisonnier dans sa partie sud.

**Figure 5.** Carte schématique du bassin des Canaries montrant les principaux courants (bleu clair : courants de surface ; bleu foncé : courants de pente), les principaux caps, les apports d'eau douce (flèches bleues) et de poussière (> 10 g/m<sup>2</sup>/an en jaune), les zones de rétention (orange) et de dispersion (vert) sur le plateau, la zone frontale entre les masses d'eau (lignes bleues pointillées) et les tourbillons de méso-échelle (bleu : cyclones ; rouge : anticyclones) au sud des îles Canaries.



AC : courant des Açores ; CanC : courant des Canaries ; MC : courant mauritanien ; NACW : eau centrale nord-atlantique ; NEC : courant nord-équatorial ; NECC : contre-courant nord-équatorial ; PC : courant portugais ; SACW : eau centrale sud-atlantique ; SC : courant de pente.

Source : ARISTEGUI *et al.* (2009).

- 17 La forte productivité biologique de la côte nord-ouest de l'Afrique, due à la remontée de nutriments qui entretiennent de grandes populations de poissons (FRÉON *et al.*, 2009), soutient la pêche qui joue un rôle crucial pour l'économie et la sécurité alimentaire. Les eaux au large du nord de la Mauritanie font partie des zones marines les plus productives au monde et servent d'importantes zones de pêche, tandis que les eaux du Sénégal auraient une productivité moyenne. Le long de la côte ouest-africaine, l'estuaire du Sine-Saloum se trouve dans la zone de transition entre un paysage aride et sec et des écosystèmes côtiers tropicaux humides bordés de mangroves et représente une importante nourricerie pour les poissons. Le plateau est large et fournit un habitat fertile et une zone d'alimentation pour les poissons de fond et les petits poissons pélagiques (PPP) importants pour la pêche côtière. Les pêcheries de la région constituent la principale source de protéines animales pour une population dépassant 225 millions de personnes, dont un tiers d'enfants (FAILLER, 2014). À ce jour, la majorité des stocks d'espèces à longue durée de vie est épuisée, et les PPP sont devenus les principales espèces exploitées, tant pour l'industrie alimentaire mondiale (farine de poisson, TACON, 2004) que pour la consommation humaine (FAILLER, 2014). Les pêcheries pélagiques au nord du Cap Blanc sont généralement dominées par la sardine européenne (*Sardina pilchardus*) et l'anchois (*Engraulis encrasicolus*), tandis qu'au sud du Cap Blanc, les sardinelles (*Sardinella aurita* et *S. maderensis*) dominent généralement les

débarquements. Dans les conditions actuelles de réchauffement climatique, la distribution des sardinelles se déplace vers le nord depuis le milieu des années 1990 (SARRÉ *et al.*, 2018). En raison de la crise alimentaire sahélienne, la pression démographique sur la frange côtière a augmenté les activités de pêche artisanale (BINET *et al.*, 2013 ; FAILLER, 2014), s'ajoutant à la pression de la pêche industrielle. La surpêche des PPP menace la capacité des écosystèmes marins à soutenir les pêcheries (LAURANS *et al.*, 2004 ; PALA, 2013 ; THIAO *et al.*, 2012), amplifiant le risque d'effondrement (MCOWEN *et al.*, 2015 ; ESSINGTON *et al.*, 2015). Alors qu'il existe une littérature exhaustive sur la dynamique des PPP dans la zone d'*upwelling* du nord, ce qui est particulièrement intéressant pour les flottes étrangères, nos connaissances sur la biologie, la distribution, la reproduction et le statut d'exploitation des espèces côtières dans les pays du Sud (du Sénégal à la Côte d'Ivoire) font cruellement défaut.

- 18 Au centre du Sénégal, la sécheresse sahélienne des dernières décennies (PAGES et CITEAU, 1990) a entraîné l'inversion de l'estuaire du Sine-Saloum avec des salinités plus élevées à l'intérieur des terres qu'à l'embouchure du fleuve. Si l'on ajoute à cela que de nombreuses régions arides deviennent plus sèches en raison du changement climatique (IPCC, 2014b), les impacts de l'inversion de l'estuaire sur la fonction du Sine-Saloum en tant qu'habitat essentiel et zone de nourricerie pour les espèces de poissons locales sont assez peu connus. Malgré la quasi-absence d'espèces de poissons sédentaires, le suivi d'une aire marine protégée dans le Delta a révélé des menaces importantes sur la biomasse et la diversité des poissons (BROCHIER *et al.*, 2011 ; ECOUTIN *et al.* 2014 ; SADIO *et al.*, 2017). Dans le même ordre d'idées, l'hydrodynamique et le forçage des marées à l'intérieur de l'estuaire du Sine-Saloum, spatialement complexe avec ses nombreux affluents (appelés localement *bolongs*), les réponses aux changements environnementaux au niveau des écosystèmes et leurs contributions au bien-être humain, sont peu connus. Les sociétés locales dépendent fortement des ressources naturelles qui proviennent directement ou indirectement des mangroves qui peuplent les berges le long de l'estuaire, comme les poissons, les crustacés et les coquillages. Ces mangroves ont également subi des changements drastiques lors de l'inversion de l'estuaire, et actuellement elles ne se développent pas plus loin dans les terres (vers l'est) que la ville économiquement importante de Foundiougne. Même lors des changements récents des conditions climatiques dans l'arrière-pays, les schémas de salinité de l'estuaire inverse semblent rester stables, mais des études détaillées et une compréhension mécanistique font défaut. La durabilité de l'extraction des produits de la mer, principalement par le biais de la pêche artisanale, de l'estuaire et du tronçon côtier correspondant, peut difficilement être évaluée, car il n'existe pas de données sur les débarquements ni sur les stocks de poissons ou de crustacés en quantité ou en qualité suffisantes (BOUSSO, 2000 ; SIMIER *et al.*, 2004 ; ECOUTIN *et al.*, 2010).

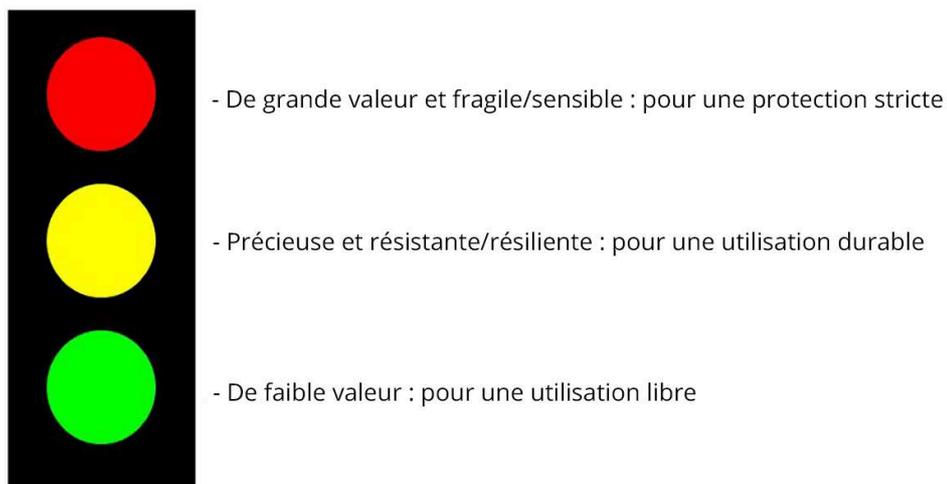
## Conclusion

- 19 L'Atlantique tropical revêt une importance mondiale en tant que partie intégrante du réseau global de courants océaniques et en tant que matrice de la migration des espèces marines, dont beaucoup présentent un grand intérêt économique aux échelles régionale et mondiale. Les riches stocks de fruits de mer assurent la sécurité alimentaire de subsistance et les revenus de millions d'habitants des zones côtières et sont exploités par les pays limitrophes et au-delà, y compris l'Europe. La gestion

durable de ces ressources, leur utilisation et leur extraction sont essentielles à l'échelle mondiale pour garantir la sécurité alimentaire (à l'échelle locale et mondiale), le bien-être et les moyens de subsistance des populations, et ainsi prévenir les migrations humaines dues à la pauvreté ou aux catastrophes. Pour cela, il faut prendre en compte non seulement la pêche, mais aussi les activités et utilisations concurrentes, ainsi que les autres contributions des mers et des côtes au bien-être humain. Afin d'éviter – ou du moins de minimiser – les conflits entre l'utilisation et l'exploitation des ressources naturelles par l'homme et la protection de l'environnement, la hiérarchisation des priorités de la planification de l'espace maritime réunit les exigences des sociétés locales/régionales et la nécessité de protéger les écosystèmes côtiers et marins contre les abus et la surexploitation. Le résultat sera un compromis spatialement explicite d'utilisation des terres et des mers qui optimisera les bénéfices humains et minimisera les dommages environnementaux en même temps.

- 20 Une approche potentielle pour parvenir à de telles recommandations destinées aux responsables politiques et aux décideurs est le « concept de feu tricolore » (HELPER et ZIMMER, 2018 ; fig. 6). Ce concept prend en compte la stabilité, la résistance ou la résilience de l'écosystème ainsi que sa valeur pour les parties prenantes locales, régionales et mondiales. Les écosystèmes sont classés selon les couleurs d'un feu tricolore – rouge, jaune et vert – sur la base d'observations et de mesures sur le terrain, ainsi que de modèles prédictifs de l'évolution de l'écosystème selon différents scénarios de conditions environnementales actuelles et futures et de changement d'utilisation des terres et des ressources. Pour que le résultat soit simple d'utilisation pour les parties prenantes ainsi qu'aux responsables politiques et aux décideurs, les catégories sont limitées à trois au maximum et tiennent compte du fait que la protection complète d'une zone donnée n'est possible et acceptable pour les sociétés locales que si les zones voisines peuvent être utilisées. Ainsi, le rouge signifie « important et sensible », et donc qu'il est important de protéger la zone concernée totalement de l'utilisation humaine. Le jaune signifie « important et stable/résilient » ; la zone est alors disponible pour une utilisation (durable). Le vert signifie « dégradé ou de peu de valeur à l'avenir » ; la zone peut être utilisée selon les besoins locaux ou régionaux, par exemple pour le développement d'infrastructures ou de l'agro- et aquaculture. Grâce à cette dernière couleur, l'utilisation nécessaire et inévitable des espaces serait limitée aux zones de faible valeur écologique, et les zones de grande valeur seraient épargnées de la destruction et de la dégradation.

**Figure 6.** Schéma conceptuel du feu de circulation pour la hiérarchisation spatiale de la protection et de l'utilisation des écosystèmes



SOURCE : HELFER ET ZIMMER (2018)

- 21 De telles approches requièrent une connaissance pluridisciplinaire et une compréhension solide des systèmes côtiers, incluant l'écologie, la socio-économie, la sociologie, les études juridiques, mais également la gouvernance et les politiques publiques. Les études de cas de régions sélectionnées sur les frontières occidentales (Brésil) et orientales (Cabo Verde et Sénégal) de l'Atlantique présentées dans ce chapitre illustrent nos connaissances limitées sur de nombreux aspects nécessaires à la PSM. En supposant qu'il en va de même pour les nombreuses régions côtières de l'Atlantique tropical qui ne sont pas abordées dans ce chapitre, il apparaît essentiel de mener des études plus nombreuses et détaillées sur les écosystèmes tropicaux côtiers et marins, leurs processus et fonctions, leur utilisation et leur exploitation et la façon dont l'utilisation des ressources affecte ces écosystèmes.

---

## BIBLIOGRAPHIE

ARÍSTEGUI J., BARTON E. D., ÁLVAREZ-SALGADO X. A., SANTOS A. M. P., FIGUEIRAS F. G., KIFANI S., HERNÁNDEZ-LEÓN S., MASON E., MACHÚ E., DEMARCQ H., 2009

Sub-regional ecosystem variability in the Canary Current upwelling. *Progress in Oceanography*, 83 (1-4) : 33-48.

Arístegui J., Sangrá P., Hernández-León S., Cantón M., Hernández-Guerra A., Kerling J. L., 1994

Island-induced eddies in the Canary Islands. *Deep Sea Research I*, 41 (10) : 1509-1525.

Assunção R. V., Costa da Silva A., Roy A., Bourlès B., Silva C. H. S., Ternon J.-F., Araujo M., Bertrand A., 2020

3D characterisation of the thermohaline structure in the southwestern tropical Atlantic derived from functional data analysis of in situ profiles. *Progress in Oceanography*, 187 : 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102399>

**BCV, 2018**

*Relatório do estado da economia de Cabo Verde em 2017*. Departamento de Estudos Económicos e Estatísticas (ed.), Praia, Banco de Cabo Verde, 91 p.

**Barton E. D., Aristegui J., Tett P., Cantón M., García-Braun J., Hernández-León S., Nykjaer L., Almeida C., Almunia J., Ballesteros S., Basterretxea G., Escáñez J., García-Weill L., Hernández-Guerra A., López-Laatzén F., Molina R., Montero M. F., Navarro-Pérez E., Rodríguez J. M., van Lenning K., Vélez H., Wild K., 1998**

The transition zone of the Canary Current upwelling region. *Progress in Oceanography*, 41 (4) : 455-504.

**Bertrand A., Vögler R., Defeo O., 2018**

« Chapter 15: climate change impacts, vulnerabilities and adaptations: South-West Atlantic and South-East Pacific marine fisheries ». In Barange M., Bahri T., Beveridge M., Cochrane K., Funge-Smith S., Poulain F. (eds.) : *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. FAO Fisheries Technical Paper, 627 : 325-346.

**Bertrand A., Zimmer M. (coord.), 2019**

*Report on tropical Atlantic marine ecosystem dynamics in the last decades*. Deliverable D2.1, EU H2020 Project Paddle. <https://www-ium.univ-brest.fr/paddle/publications/scientific-publications/documents-des-publications/d-2-1-report-on-tropical-marine-ecosystem-dynamics.pdf>

**Binet T., Failler P., Bailleux R., Turmine V., 2013**

Des migrations de pêcheurs de plus en plus conflictuelles en Afrique de l'Ouest. *Revue africaine des Affaires maritimes et des Transports*, 5 (51) : 51-68.

**Bousso T., 2000**

« La pêche dans l'estuaire du Sine-Saloum (Sénégal), typologie d'exploitation des villages et campements de pêche ». In Gascuel D., Chavance P., Bez N., Biseau A. (éd.) : *Les espaces de l'halieutique*. Paris, IRD Éditions, coll. Colloques et séminaires : 349-370.

**Brochier T., Mason E., Moyano M., Berraho A., Colas F., Sangrà P., Hernández-León S., Ettahiri O., Lett C., 2011**

Ichthyoplankton transport from the African coast to the Canary Islands. *Journal of Marine Systems*, 87 (2) : 109-122. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.02.025>

**Correia J. H. G., 2012**

*Extracção de areia na praia de Calhetona (Ilha de Santiago, Cabo Verde): causas, processos e consequências*. Mémoire de master en citoyenneté et participation environnementales, Lisbonne, université Aberta, 103 p.

**Demarcq H., 2009**

Trends in primary production, sea surface temperature and wind in upwelling systems (1998-2007). *Progress in Oceanography*, 83 (1-4) : 376-385.

**Doty M. S., Oguri M., 1956**

The island mass effect. *ICES Journal of Marine Science*, 22 : 33-37.

**Duarte M. C., Romeiras M. M., 2009**

« Cape Verde Islands ». In *Encyclopedia of Islands*, University of California Press : 501-512.

**Ecoutin J. M., Simier M., Albaret J. J., Laë R., Tito de Morais L., 2010**

Changes over a decade in fish assemblages exposed to both environmental and fishing

constraints in the Sine-Saloum estuary (Senegal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87 (2) : 284-292.

**Ecoutin J. M., Simier M., Albaret, J. J., Laë R., Raffray J., Sadio O., Tito de Morais L., 2014**  
Ecological field experiment of short-term effects of fishing ban on fish assemblages in a tropical estuarine MPA. *Ocean and Coastal Management*, 100 : 74-85.

**Eduardo L. N., Frédou T., Souza Lira A., Ferreira B., Bertrand A., Ménard F., Lucena Frédou F., 2018**

Identifying key habitat and spatial patterns of fish biodiversity in the tropical Brazilian continental shelf. *Continental Shelf Research*, 166 : 108-118.

**Essington T. E., Moriarty P. E., Froehlich H. E., Hodgson E. E., Koehn L. E., Oken K. L., Siple M. C., Stawitz C. C., 2015**

Fishing amplifies forage fish population collapses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (21) : 6648-6652.

**Failler P., 2014**

Climate variability and food security in Africa: the case of small pelagic fish in West Africa. *Journal of Fisheries Livestock Production*, 2 (2) : 1-11.

**Ferreira B. P., Maida M., 2001**

Fishing and the future of Brazil's Northeastern reefs. *Intercoast - International newsletter of Coastal management*, 38 : 22-23.

**Ferreira B. P., Cava F. C., Ferraz A. N., 1998**

Relações morfométricas em peixes recifais na zona econômica exclusiva. *Boletim Técnico e Científico do CEPENE*, 6 : 61-76.

**Francini-Filho R. B., Moura R. L., Thompson F. L., Reis R. M., Kaufman L., Kikuchi R. K. P., Leão Z., 2008**

Diseases leading to accelerated decline of reef corals in the largest South Atlantic reef complex (Abrolhos Bank, eastern Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 56 (5) : 1008-1014.

**Fréon P., Barange M., Arístegui, J., 2009**

Eastern boundary upwelling ecosystems: integrative and comparative approaches preface. *Progress in Oceanography*, 83 (1-4) : 1-14.

**Gasalla M. A., Abdallah P. R., Lemos D., 2017**

« Potential impacts of climate change in Brazilian marine fisheries and aquaculture ». In Phillips B. F., Pérez-Ramírez M. (eds) : *Climate change impacts on fisheries and aquaculture: a global analysis*. Hoboken, John Wiley & Sons : 455-470.

**Helper V., Zimmer M., 2018**

« High-throughput techniques as support for knowledge-based spatial conservation prioritization in mangrove ecosystems ». In Makowski C., Finkl C. (eds) : *Threats to Mangrove Forests: Hazards, Vulnerability and Management*. Coastal Research Library, vol. 25, Cham, Springer : 539-554. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73016-5\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73016-5_24)

**INE, 2018**

*Estatísticas do Ambiente 2016*. Praia, Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde, 80 p.

**IPCC, 2014a.**

« Summary for policymakers ». In Field C. B. 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/New York, Cambridge University Press : 1-32.

**IPCC, 2014b**

*Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Stocker F. T., Qin D., Plattner G. K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M. (eds), Cambridge/ New York, Cambridge University Press.

**Lana P. C., Bernardino A. F., 2018**

*Brazilian estuaries. A benthic perspective.* Berlin, Springer, 1<sup>st</sup> ed.

**Laurans M., Gascuel D., Chassot E., Thiam D., 2004**

Changes in the trophic structure of fish demersal communities in West Africa in the three last decades. *Aquatic Living Resources*, 17 : 163-174.

**Lopes D. F. C., de Assis C. R. D., de Sant'Anna M. C. S., da Silva J. F., de Souza Bezerra R., Frédou F. L., 2019**

Brain acetylcholinesterase of three Perciformes: from the characterization to the *in vitro* effect of metal ions and pesticides. *Ecotoxicology and environmental safety*, 173 : 494-503.

**McOwen C. J., Cheung W. W. L., Rykaczewski R. R., Watson R. A., Wood L. J., 2015**

Is fisheries production within large marine ecosystems determined by bottom-up or top-down forcing? *Fish and Fisheries*, 16 (4) : 623-632.

**Medina A., Brêthes J. C., Sévigny J. M., Zakardjian B., 2007**

How geographic distance and depth drive ecological variability and isolation of demersal fish communities in an archipelago system (Cape Verde, Eastern Atlantic Ocean). *Marine Ecology - An evolutionary perspective*, 28 (3) : 404-417.

**Monteiro V., Ramos V., 2014**

*Relatório nacional de avaliação das actividades terrestres, que podem ser fontes de poluição costeira e marinha em Cabo Verde.* 38 p.

**Pages J., Citeau, J., 1990**

Rainfall and salinity of a Sahelian estuary between 1927 and 1987. *Journal of Hydrology*, 113 : 325-341.

**Pala C., 2013**

Detective work uncovers under-reported overfishing. *Nature*, 496 : 18-18.

**Pana II, 2004**

*Segundo Plano de Acção Nacional para o Ambiente (Vol. III): Plano Ambiental Inter-Sectorial Ambiente e Gestão Sustentável da Biodiversidade.* Praia, Ministério do Ambiente, Agricultura e Pescas, Gabinete de Estudos e Planeamento. 79 p.

**Reina M. B. S., 2015**

*La valoración económica de los recursos naturales en la gestión de destinos turísticos insulares.* Thèse de doctorat en économie, université de Las Palmas, Gran Canaria, 238 p.

**Sadio O., Diadiou H. D., Simier M., Ecoutin, J. M., 2017**

« Effet Spillover d'une aire marine protégée estuarienne en Afrique de l'Ouest : le cas de l'AMP de Bamboung (Saloum, Sénégal) ». In Brehmer P., Ba B., Kraus G. (eds) : *International conference ICAWA 2016: extended book of abstract. The AWA project: ecosystem approach to the management of fisheries and the marine environment in West African waters.* ICWA International conference, Dakar, SRFC/CSRP/IRD : 116-117.

**Santos C. Z., Schiavetti A., 2014**

Assessment of the management in Brazilian marine extractive reserves. *Ocean and Coastal Management*, 93 : 26-36.

**Sarré A., Krakstad J.-O., Brehmer P., Mbye E., 2018**

Spatial distribution of main clupeid species in relation to acoustic assessment surveys in the continental shelves of Senegal and The Gambia. *Aquat. Living Resour.*, 31 : 9-18.

**Simier M., Blanc L., Aliaume C., Diouf P. S., Albaret J. J., 2004**

Spatial and temporal structure of fish assemblages in an “inverse estuary”, the Sine-Saloum system (Senegal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59 (1) : 69-86.

**Tacon A. G. J., 2004**

Use of fish meal and fish oil in aquaculture: a global perspective. *Aquatic Resources, Culture and Development*, 1 (1) : 3-14.

**Thiao D., Chaboud C., Samba A., Laloë F., Cury P. M., 2012**

Economic dimension of the collapse of the false cod *Epinephelus aeneus* in a context of ineffective management of the small-scale fisheries in Senegal. *African Journal of Marine Science*, 34 : 305-311.

**Tosetto E. G., Bertrand A., Neumann-Leitão S., Nogueira Júnior M., 2022**

The Amazon River plume, a barrier to animal dispersal in the Western Tropical Atlantic. *Scientific Reports*, 12 (537). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04165-z>

**Vasconcellos M., Diegues A. C., Kalikoski D., 2011**

« Coastal fisheries of Brazil ». In Salas S., Chuenpagdee R., Charles A., Seijo J. C. (eds) : *Coastal fisheries of Latin America and the Caribbean*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 544, Rome, FAO : 73-116.

**Viana A. P., Lucena Frédou F., Frédou T., Ferreira Torres M., Bordalo A., 2010**

Fish fauna as an indicator of environmental quality in an urbanised region of the Amazon estuary. *Journal of Fish Biology*, 76 (3) : 467-486.

**Viana A. P., Lucena Frédou F., Frédou T., 2012**

Measuring the ecological integrity of an industrial district in the Amazon estuary, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 64 (3) : 489-499.

## NOTES

1. Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic : [www.pmel.noaa.gov/gtmba/pmel-theme/atlantic-ocean-pirata](http://www.pmel.noaa.gov/gtmba/pmel-theme/atlantic-ocean-pirata)
2. La République du Cap-Vert a changé son nom officiel dans toutes les langues en République du Cabo Verde le 24 octobre 2013 dans une demande soumise au Secrétaire général par le représentant permanent du pays auprès des Nations unies. Conformément à cette demande, il ne sera fait mention dans cette publication qu’au Cabo Verde. Afin de respecter les titres des œuvres préalablement parues, les références ou sources imprimées mentionnant dans leur titre « Cap-Vert » (en français) ou « Cape Verde » (en anglais) n’ont pas été modifiées.

---

## AUTEURS

### **ARNAUD BERTRAND**

Écologue marin, UMR Marbec, IRD, France.

### **MARTIN ZIMMER**

Écologue marin, Centre Leibniz pour l'écologie marine tropicale (ZMT), Allemagne.

Sous la direction de  
Marie Bonnin  
Sophie Lanco Bertrand

# Planification spatiale marine en Atlantique tropical

D'une tour de Babel  
à l'organisation d'une intelligence collective



  
Editions