

University of Groningen

Sharks and rays in troubled waters

Leurs, Guido H L

DOI:
[10.33612/diss.986573116](https://doi.org/10.33612/diss.986573116)

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2024

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):
Leurs, G. H. L. (2024). *Sharks and rays in troubled waters: Threatened species in dynamic intertidal ecosystems*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen.
<https://doi.org/10.33612/diss.986573116>

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Summaries



Summary

Populations of sharks and rays (*i.e.*, elasmobranchs) are under pressure from human activities. Combined with their slow population growth, this has resulted in declining shark and ray populations. The decline of sharks and rays threatens the functioning of marine ecosystems and local communities that depend on fisheries. The impact of human disturbances on the ecological role of sharks and rays in intertidal ecosystems - *i.e.*, habitats (often soft-bottom flats) exposed during low tide - is poorly understood, especially in the West African region. In this thesis, I address this important knowledge gap by focusing on the two largest intertidal ecosystems in the West African region: the Banc d'Arguin in Mauritania and the Bijagós Archipelago in Guinea-Bissau, placing results into a regional and global (intertidal) context. This thesis addresses the central question: "How do fisheries impact the role of sharks and rays as intertidal predators, and how does this potentially impact other predators (e.g., migratory shorebirds) and ecosystem functioning?". I focus on four themes to address this question, which I summarized consecutively.

Fisheries

We studied the extent of industrial and small-scale fisheries to determine their impact on shark and ray populations in the Banc d'Arguin and the Bijagós Archipelago (**Section I**). For this, we used data from industrial fishing vessels' onboard 'Automatic Identification System' (AIS) to determine the distribution of their fishing activity near both study areas (**Chapter 2**). We then combined this with information on shark and ray catches by fishers in the waters of Mauritania and Guinea-Bissau. We found that industrial fishing effort is concentrated around the borders of the marine protected areas, with 72% and 78% of the area around the borders of the Banc d'Arguin and Bijagós Archipelago impacted by fishing activity, respectively. We further show that the bycatch of sharks and rays can be high in these waters.

We reconstructed the population changes over the past decades in both study areas to determine a historical baseline for sharks and rays. In the Banc d'Arguin, we based population trends on landing site surveys (**Chapter 3**) and fishers' ecological knowledge in the Bijagós Archipelago (**Chapter 4**). We concluded that shark and ray populations declined severely, with some species (groups), such as blackchin guitarfish (*Glaucostegus cemiculus*) and hammerhead sharks (*Sphyrna spp.*), declining by over 90% between 1960 and 2020.

These results show that sharks and rays are at risk from small-scale fisheries locally, whereas individuals moving outside these areas are at risk from industrial fisheries. In addition, the available marine habitat in intertidal areas shrinks dramatically with the receding tide, making these species even more susceptible to capture and decreasing survivability in intertidal fishing gear. Therefore, future research should quantify the relative risk of both fisheries to shark and ray populations in intertidal areas and examine how fisheries intervene with these species' movements across ecosystem boundaries.

Diversity & Life History

The lack of information on the occurrence of sharks and rays or their life cycle hampers the effective management of these species. This is especially relevant in the poorly studied West African waters. We used environmental DNA (eDNA) to determine the species richness of the elasmobranch community in the Bijagós Archipelago (**Chapter 5**). We show that this technique can successfully be used in remote and data-deficient intertidal areas to detect the presence of threatened sharks and rays. We concluded that the presence of some species differs across the dry and rainy seasons and that critically endangered scalloped hammerhead (*Sphyrna lewini*) and blackchin guitarfish are still widely distributed throughout the archipelago. In total, we detected 13 species (2 shark and 11 ray species), of which 54% are threatened with extinction. The pearl whipray (*Fontitrygon margaritella*) was found to be the most commonly occurring elasmobranch species. In **Chapter 6**, we specifically studied this species (pearl whipray) and showed that it is a fast-growing species that matures between 2.2 and 3.9 years of age and completes its entire lifecycle in the Bijagós Archipelago.

Species Interactions

Intertidal habitats are traditionally studied from a low-tide and shorebird perspective. However, we show that intertidal habitats are also used by various shark and ray species (**Chapter 7**). Globally, we identified 43 shark and 45 ray species that use intertidal habitats. These habitats are mainly used as feeding refugia by early life stages or small-bodied species. We conceptualize the shared intertidal habitat and resource use by sharks, rays, and shorebirds, and how the decline of elasmobranch populations can affect intertidal ecosystem functioning. In **Chapter 8**, we studied this potential overlap between sharks and shorebirds further and determined that elasmobranchs and migratory waders are likely to use similar intertidal habitats and food sources. The

trophic niche overlap between shorebirds and rays is especially profound, as these species groups share 28 to 42% of their trophic niche and feed on similar foodweb positions (trophic positions 2.3 to 4.3). As such, although separated by the tide, rays and shorebirds exploit similar intertidal prey during high and low tide, respectively.

Next to playing a significant role in the ecosystem's food web, we also show that benthic rays in the Bijagós Archipelago can change the biogeomorphology and macrozoobenthic communities of intertidal habitats (**Chapter 9**). Benthic rays such as the common pearl whipray can turn over the entire top-sediment layer every 27 days. This is evidence of a landscape-wide impact of small benthic rays and suggests that removing their predators or fisheries directly targeting this species may impact the broader functioning of intertidal ecosystems.

Conservation

To enable the inclusion of ecologically important areas for sharks and rays into area-based conservation measures, we have described criteria for Important Shark and Ray Areas (ISRAs; **Box F**). These Important Shark and Ray Areas represent areas of importance to sharks and rays, such as migratory corridors, areas with many threatened species, or known nursery areas. ISRAs inform decision-makers about which areas to include in area-based strategies if the objective is to conserve shark and ray populations. However, sharks and rays are not only ecologically important but are also part of the complex socio-economic systems of many coastal communities, including in both study areas. We highlight important lessons learned from field researchers who conducted shark value chain assessments and emphasize the necessity to include local researchers and fishers in the process is essential for accurate data collection, communicating outcomes, and for adaptive management strategies to be effective (**Chapter 10**).

Management Implications

This thesis concludes that sharks and rays have an important role as predators and in socio-economic systems in (intertidal) coastal communities. However, as shown throughout the thesis, intertidal sharks and rays are threatened by fisheries in and outside these coastal areas. Therefore, **Chapter 11** outlines numerous recommendations to turn the tide for these species in West Africa. These include:

1. Improve data collection regarding industrial and small-scale fisheries catches by strengthening local research capacity.

Summary

2. Identify ecological areas for sharks and rays within large intertidal areas to prevent interactions between elasmobranchs and fisheries or other human activities.
3. Restrict the use of specific intertidal fishing methods to reduce fishing mortality of sharks and rays.
4. Enforce protected area boundaries and limit fisheries to registered vessels.
5. Involve local communities in enforcing fishing regulations and ensure equality across fisheries value chains.

Without appropriate interventions, the loss of sharks and rays from the Banc d'Arguin and the Bijagós Archipelago is imminent. Although future research is necessary to determine the consequences of this loss, it is clear that these species provide links across ecosystem boundaries. The role of sharks and rays in the functioning of intertidal ecosystems and their importance to coastal livelihoods should be integrated into future conservation strategies.

Samenvatting

Haaien en roggen (elasmobranchen) worden bedreigd door menselijke activiteiten. In combinatie met hun langzame populatiegroei heeft dit wereldwijd geleid tot afnemende haaien- en roggenpopulaties. Deze afname bedreigt het functioneren van mariene ecosystemen en lokale kustgemeenschappen die afhankelijk zijn van visserij. De invloed van menselijke verstoringen op de ecologische rol van haaien en roggen in waddengebieden (gebieden die tijdens laagtij droogvallen; waddengebieden) is onduidelijk. Er is vooral heel weinig bekend over deze soorten in West-Afrikaanse waddengebieden. In dit proefschrift richt ik me daarom op de twee grootste wadden ecosystemen van West-Afrika: de Banc d'Arguin in Mauritanië en de Bijagós Archipel in Guinee-Bissau, waarbij ik de resultaten ook in een internationaal perspectief plaats. De hoofdvraag die ik in dit proefschrift beantwoord is: "Hoe beïnvloedt visserij de rol van haaien en roggen in waddengebieden, en hoe beïnvloedt dit hun interactie met andere dieren aan de top van de voedselketen (bijvoorbeeld migrerende wadvogels) en het functioneren van deze ecosystemen?". Dit proefschrift is opgedeeld in vier thema's, die ik hier achtereenvolgens samenvat.

Visserij

We hebben de omvang van industriële- en kustvisserij bestudeerd voor de kust van West-Afrika, om vervolgens hun impact op de haaien- en roggenpopulaties in de Banc d'Arguin en de Bijagós Archipel te bepalen (**Hoofdstuk 1**). Hiervoor gebruikten we gegevens van het 'Automatic Identification System' (AIS) aan boord van industriële vissersschepen om zo de verspreiding van visserijactiviteiten in de buurt van beide studiegebieden te bepalen (**Hoofdstuk 2**). Dit hebben we gecombineerd met data van haaien- en roggenvangsten door industriële vissersschepen in de wateren van Mauritanië en Guinee-Bissau. Daarbij ontdekten we dat de industriële visserij zich concentreert rond de grenzen van beschermde gebieden, waarbij respectievelijk 72% en 78% van het gebied rond de grenzen van de Banc d'Arguin en de Bijagós Archipel wordt bevestigd. Ook laten we zien dat de bijvangst van haaien en roggen in deze wateren hoog kan zijn.

Verder hebben we de veranderingen in de haaien- en roggenpopulaties over de afgelopen decennia in kaart gebracht, om zo een idee te krijgen van de oorspronkelijke aanwezigheid van deze soorten. Dit konden we vervolgens gebruiken als referentie om de mate van populatieafname in te kunnen schatten. In de Banc d'Arguin baseerden we de populatietrends op visinventarisaties afkomstig van visserijhavens (**Hoofdstuk 3**) en in de Bijagós Archipel baseerden we deze op kennis van vissers

die we voor dit doel hebben geïnterviewd (**Hoofdstuk 4**). We concludeerden dat de haaien- en roggenpopulaties zeer sterk zijn afgenomen in de afgelopen 60 jaar. Sommige soorten, zoals de zwartkin-gitaarrog (*Glaucostegus cemiculus*) en hamerhaaiensoorten (*Sphyrna spp.*), zijn zelfs met meer dan 90% afgenomen tussen 1960 en 2020.

Deze resultaten laten zien dat haaien en roggen op lokale schaal worden bedreigd door kustvisserij, terwijl soorten die zich ook buiten deze kustgebieden begeven daar ook in aanraking komen met industriële visserij. Bovendien krimpt de beschikbare mariene habitat in waddengebieden dramatisch tijdens afgaand tij, waardoor deze soorten tijdens eb nog vatbaarder worden voor vangst en hun overlevingskansen verder afnemen. Toekomstig onderzoek zou zich daarom moeten richten op het in kaart brengen van de risico's van beide visserijvormen voor haaien- en roggenpopulaties in waddengebieden.

Diversiteit & Levenscyclus

De bescherming van West-Afrikaanse haaien en roggen wordt momenteel sterk belemmerd door het gebrek aan informatie over hun aanwezigheid en populatiestatus. Daarom hebben we een relatief nieuwe methode, 'environmental DNA' (eDNA), gebruikt om de soortenrijkdom van de haaien- en roggengemeenschap in de Bijagós Archipel te bepalen (**Hoofdstuk 5**). Met deze techniek wordt dierlijk DNA uit een watermonster gefilterd om zo de aanwezigheid van een soort vast te stellen. We laten zien dat deze techniek succesvol kan worden gebruikt in afgelegen waddengebieden om de aanwezigheid van bedreigde haaien en roggen vast te stellen. Door middel van deze techniek konden we concluderen dat de met uitsterven bedreigde geschulpte hamerhaai (*Sphyrna lewini*) en de zwartkin-gitaarrog nog steeds wijdverspreid zijn in de archipel. In totaal hebben we de aanwezigheid van 13 soorten (2 haaiensoorten en 11 roggensoorten) vastgesteld, waarvan 54% met uitsterven wordt bedreigd. De rog *Fontitrygon margaritella* is de meest voorkomende soort. In **Hoofdstuk 6** bestudeerden we deze roggensoort (*Fontitrygon margaritella*) verder, en toonden we aan dat het een snelgroeiende soort is die tussen de 2,2 en 3,9 jaar geslachtsrijp wordt en dat alle levensstadia van deze soort (jonge en volwassen beesten) in de Bijagós voorkomen.

Soorteninteracties

Waddengebieden zijn tot nu voornamelijk onderzocht vanuit een laagwater- (eb) en wadvogelperspectief. In **Hoofdstuk 7** laten we echter zien dat haaien en roggen

ook wadplaten gebruiken tijdens hoogwater (vloed). Wereldwijd hebben we 43 haaiensoorten en 45 roggensoorten geïdentificeerd die habitats in wadengebieden gebruiken. Deze habitats worden voornamelijk gebruikt als schuilplaats en als veilig foerageergebied omdat grote roofdieren er niet kunnen komen. Daarnaast beschrijven we de theorie dat zowel haaien en roggen, als wadvogels dezelfde habitat en voedselbronnen gebruiken, en hoe visserij deze interactie tussen deze soortgroepen zou kunnen beïnvloeden. In **Hoofdstuk 8** hebben we deze mogelijke overlap tussen haaien en wadvogels verder onderzocht en vastgesteld dat elasmobranchen en migrerende wadvogels gedeeltelijk vergelijkbare habitats en voedselbronnen gebruiken. De overlap tussen wadvogels en roggen is aanzienlijk, aangezien deze soortgroepen 28 tot 42% overlappen in hun gebruik van voedselbronnen in deze gebieden, en vergelijkbare posities (trofisch niveau 2.3 tot 4.3) innemen. Hoewel ze een gescheiden leven leiden als gevolg van het veranderende getij gebruiken roggen (tijdens hoogtij) en wadvogels (tijdens laagtij) toch vergelijkbare prooien in het wadengebieden.

Naast de belangrijke rol als roofdieren in mariene ecosystemen, laten we ook zien dat roggen in de Bijagós Archipel de biogeomorfologie en bodemfauna van wadengebieden kunnen veranderen (**Hoofdstuk 9**). Pijlstaartroggen zoals *Fontitrygon margaritella* kunnen elke 27 dagen de gehele toplaag van de bodem omwoelen. Dit is bewijs van een landschapsbrede impact van deze veelvoorkomende roggen en suggereert dat het verwijderen van hun predatoren, of directe visserij op deze soorten, het functioneren van wadden ecosystemen kan beïnvloeden.

Behoud van Soorten

Om ervoor te zorgen dat gebieden die ecologisch belangrijk zijn voor haaien en roggen in kaart worden gebracht en worden opgenomen in bestaande maatregelen voor natuurbehoud, hebben we criteria beschreven voor zogeheten 'Important Shark and Ray Areas' (ISRAs; **Box F**). Deze Important Shark and Ray Areas vertegenwoordigen gebieden die belangrijk zijn voor een of meerdere haaien- en roggensoorten, zoals migratieroutes, gebieden met veel bedreigde soorten of gebieden met een kraamkamerfunctie. Deze ISRA's voorzien natuurbeheerders en beleidsmakers over welke gebieden beschermd zouden moeten worden als zij haaien- en roggenpopulaties beter willen beschermen. Haaien en roggen zijn echter niet alleen ecologisch belangrijk, maar maken ook deel uit van de complexe sociaaleconomische systemen van veel menselijke kustgemeenschappen. Dit is ook het geval in beide studiegebieden, waar visserij een belangrijke traditie is en een van

de belangrijkste inkomstenbronnen is. In **Hoofdstuk 10** omschrijven we belangrijke lessen die veldonderzoekers wereldwijd hebben geleerd tijdens het bestuderen van de visserij en handel in haaien en roggen. Deze onderzoekers benadrukken de noodzaak om lokale onderzoekers en vissers bij visserijonderzoek te betrekken. Dit is essentieel voor het verzamelen van gevoelige informatie over visserij, het communiceren van resultaten en voor het stimuleren van effectiever (lokaal) beheer van haaien en roggen.

Beheeradvies

In dit proefschrift concludeer ik dat haaien en roggen een belangrijke rol spelen als roofdieren in waddengebieden en dat deze soorten bijdragen aan de tradities en economie van lokale kustgemeenschappen. We hebben echter in dit proefschrift aangetoond dat haaien en roggen bedreigd worden door de visserij binnen en buiten grote waddengebieden. In **Hoofdstuk 11** presenteer ik daarom een aantal aanbevelingen om het tij te keren voor de bescherming van haaien en roggen in West-Afrika. Dit zijn de belangrijkste:

1. Verbeter het verzamelen van vangstgegevens in de industriële en kustvisserij door lokale onderzoekscapaciteit te versterken.
2. Identificeer belangrijke ecologische gebieden voor haaien en roggen binnen deze gebieden om zo interacties tussen elasmobranchen en visserij te verminderen.
3. Beperk het gebruik van specifieke vismethoden in het waddengebied om overleving van haaien en roggen als bijvangst te vergroten.
4. Zorg ervoor dat grenzen van beschermde gebieden strenger worden gehandhaafd en beperk visserij tot geregistreerde vissers.
5. Betrek lokale gemeenschappen bij de handhaving van regelgeving en zorg voor gelijkheid in de lokale vishandel.

Zonder maatregelen dreigen haaien en roggen uit de Banc d'Arguin en de Bijagós Archipel te verdwijnen. Hoewel verder onderzoek nodig is om de gevolgen van dit verlies verder in kaart te brengen, is het duidelijk dat deze soorten een belangrijke schakel zijn tussen verschillende ecosystemen. De rol van haaien en roggen voor het functioneren van wadden ecosystemen én hun belang voor kustgemeenschappen moet vooropgesteld worden in het beheer van deze belangrijke gebieden.

Résumé

Les populations de requins et de raies (les élasmobranches) subissent la pression des activités humaines. Cette situation, en conjonction avec une croissance démographique lente, a entraîné un déclin des populations de requins et de raies. Ce déclin menace actuellement le fonctionnement des écosystèmes marins ainsi que les communautés locales qui dépendent de la pêche. L'impact des perturbations humaines sur le rôle écologique des requins et des raies dans les écosystèmes intertidaux - c'est-à-dire les habitats (souvent des fonds) exposés à marée basse - est mal connu, en particulier dans la région de l'Afrique de l'Ouest. Dans cette thèse, j'aborde cette importante lacune en me concentrant sur les deux plus grands écosystèmes intertidaux de la région ouest-africaine : le Banc d'Arguin en Mauritanie et l'Archipel des Bijagós en Guinée-Bissau, en plaçant les résultats dans un contexte (intertidaux) régional et mondial. Cette thèse aborde la question centrale: «Comment les pêcheries influencent-elles le rôle des requins et des raies en tant que prédateurs intertidaux, et comment cela affecte-t-il potentiellement d'autres prédateurs (par exemple, les oiseaux marins) et le fonctionnement de l'écosystème ? Pour répondre à cette question, je me concentre sur quatre thèmes, que je résume ici de façon consécutive.

Pêche

Nous avons étudié l'étendue de la pêche industrielle et artisanale afin de déterminer leur impact sur les populations de requins et de raies du Banc d'Arguin et de l'archipel de Bijagós (**Section I**). Pour cela, nous avons utilisé les données du système d'identification automatique (AIS) embarqué à bord des navires de pêche industrielle afin de déterminer la distribution de leurs activités de pêche à proximité des deux zones d'étude (**Chapitre 2**). Nous avons ensuite combiné ces données avec les informations sur les captures de requins et de raies par les pêcheurs dans les eaux de Mauritanie et de Guinée-Bissau. Nous avons constaté que l'effort de pêche industrielle est concentré autour des limites des aires marines protégées, avec 72% et 78% de la zone autour des limites du Banc d'Arguin et de l'Archipel des Bijagós touchée respectivement par l'activité de pêche. Nous montrons également que les prises accessoires de requins et de raies peuvent être élevées dans ces eaux.

Nous avons reconstruit les changements de population au cours des dernières décennies dans les deux zones d'étude afin de déterminer une base historique pour les requins et les raies. Au Banc d'Arguin, nous avons basé les tendances démographiques sur les études des sites de débarquement des produits de la pêche (**Chapitre 3**) et

sur les connaissances écologiques des pêcheurs de l'archipel de Bijagós (**Chapitre 4**). Nous avons conclu que les populations de requins et de raies ont fortement décliné, certaines espèces (groupes), telles que le raie-guitare (*Glaucostegus cemiculus*) et le requin-marteau (*Sphyrna spp.*), diminuant de plus de 90 % entre 1960 et 2020.

Ces résultats montrent que les requins et les raies sont menacés localement par la pêche à petite échelle, tandis que les individus se déplaçant en dehors de ces zones sont menacés par la pêche industrielle. En outre, l'habitat marin disponible dans les zones intertidales se réduit considérablement avec le recul de la marée, ce qui rend ces espèces encore plus susceptibles d'être capturées et diminue leur capacité de survie dans les engins de pêche intertidaux. Par conséquent, les recherches futures devraient quantifier le risque relatif des deux pêcheries pour les populations de requins et de raies dans les zones intertidales et devraient aussi examiner comment les pêcheries interviennent dans les mouvements de ces espèces à travers les frontières de l'écosystème.

Diversité et histoire de la vie

Le manque d'informations sur la présence des requins et des raies, ou sur leur cycle de vie, entrave la gestion efficace de ces espèces. Ceci est particulièrement vrai dans les eaux peu étudiées de l'Afrique de l'Ouest. Nous avons utilisé l'ADN environnemental ('environmental DNA', eADN) pour déterminer la richesse en espèces de la communauté d'élastomobranches dans l'archipel de Bijagós (**Chapitre 5**). Nous avons montré que cette technique peut être utilisée avec succès dans des zones intertidales éloignées et dépourvues de données pour détecter la présence de requins et de raies menacés. Nous avons conclu que la présence de certaines espèces diffère entre la saison sèche et la saison des pluies et que le requin-marteau halicorne (*Sphyrna lewini*) et la raie-guitare, qui sont gravement menacés d'extinction, sont encore largement répandus dans l'archipel. Au total, nous avons détecté 13 espèces (2 espèces de requins et 11 espèces de raies), dont 54% sont menacées d'extinction. La pastenague à perle (*Fontitrygon margaritella*) est l'espèce d'élastombranche la plus répandue. Dans le **Chapitre 6**, nous avons étudié spécifiquement cette espèce *Fontitrygon margaritella* et nous avons montré qu'il s'agit d'une espèce à croissance rapide qui arrive à maturité entre 2,2 et 3,9 ans et qui accomplit tout son cycle de vie dans l'archipel des Bijagós.

Interactions entre espèces

Les habitats intertidaux sont traditionnellement étudiés du point de vue des marées basses et des oiseaux de rivage. Cependant, nous montrons que les habitats

intertidaux sont également utilisés par diverses espèces de requins et de raies (**Chapitre 7**). Globalement, nous avons identifié 43 espèces de requins et 45 espèces de raies qui utilisent les habitats intertidaux. Ces habitats sont principalement utilisés comme refuges alimentaires par les espèces en premiers stades de vie ou les espèces à petit corps. Nous conceptualisons l'habitat intertidaux partagé et l'utilisation des ressources par les requins, les raies et les oiseaux de rivage, ainsi que la manière dont le déclin des populations d'éla-smobran-ches peut affecter le fonctionnement de l'écosystème intertidal. Au **Chapitre 8**, nous avons étudié davantage ce chevauchement potentiel entre les requins et les oiseaux de marins et nous avons déterminé que les éla-smobran-ches et les oiseaux migrateurs sont susceptibles d'utiliser des habitats intertidaux et des sources de nourriture similaires. Le chevauchement des niches alimentaires entre les oiseaux de rivage et les raies est particulièrement important, car ces groupes d'espèces partagent 28 à 42% de leur niche alimentaire et se nourrissent sur des positions similaires du réseau alimentaire (positions trophiques 2.3 à 4.3). Ainsi, bien que séparés par la marée, les raies et les oiseaux de rivage exploitent des proies intertidales similaires, respectivement à marée haute et à marée basse.

En plus de jouer un rôle important dans le réseau alimentaire de l'écosystème, nous montrons également que les raies benthiques de l'archipel de Bijagós peuvent modifier à la fois la biogéomorphologie des habitats intertidaux ainsi que les communautés macrozoobenthiques qui y sont présents (**Chapitre 9**). Les raies benthiques telles que la pastenague à perle peuvent retourner l'ensemble de la couche supérieure du sédiment tous les 27 jours. Cela prouve que les petites raies benthiques ont un impact sur l'ensemble du paysage et suggère que l'élimination de leurs prédateurs ou les pêcheries ciblant directement cette espèce peuvent avoir un impact sur le fonctionnement plus large des écosystèmes intertidaux.

Conservation

Pour permettre l'inclusion de zones écologiquement importantes pour les requins et les raies dans les mesures de conservation par zone, nous avons décrit des critères pour les zones importantes pour les requins et les raies (ISRA ; **Box F**). Les ISRA informent les décideurs sur les zones à inclure dans les stratégies par les zones humides côtières si l'objectif est de conserver les populations de requins et de raies. Cependant, les requins et les raies ne sont pas seulement importants d'un point de vue écologique. Ils font également partie des systèmes socio-économiques complexes de nombreuses communautés côtières, y compris dans les deux zones

d'étude. Nous soulignons les leçons importantes apprises par les chercheurs de terrain qui ont mené des évaluations de la chaîne de valeur des requins et insistons sur la nécessité d'inclure les chercheurs et les pêcheurs locaux dans le processus, ce qui est essentiel pour la collecte de données précises, la communication des résultats et l'efficacité des stratégies de gestion adaptative (**Chapitre 10**).

Implications en matière de gestion

Cette thèse conclut que les requins et les raies jouent un rôle important en tant que prédateurs et en vue de leur rôle dans les systèmes socio-économiques des communautés côtières (intertidales). Cependant, comme cela a été démontré tout au long de la thèse, les requins et les raies intertidales sont menacés par les pêcheries à l'intérieur et à l'extérieur de ces zones côtières. Par conséquent, le **Chapitre 11** présente de nombreuses recommandations visant à inverser la tendance négative pour ces espèces en Afrique de l'Ouest. Celles-ci comprennent :

1. Améliorer la collecte de données concernant les captures de la pêche industrielle et artisanale en renforçant les capacités de recherche locales.
2. Identifier les zones écologiques pour les requins et les raies parmi les grandes zones intertidales afin de prévenir les interactions entre les élasmobranches et les pêcheries ou d'autres activités humaines.
3. Restreindre l'utilisation de certaines méthodes de pêche dans la zone intertidale afin de réduire la mortalité par pêche des requins et des raies.
4. Faire respecter les limites des zones protégées et limiter la pêche aux navires enregistrés.
5. Impliquer les communautés locales dans l'application des règlements de pêche et garantir l'égalité entre les chaînes de valeur de la pêche.

Sans interventions appropriées, la disparition des requins et des raies du Banc d'Arguin et de l'archipel de Bijagós est imminente. Bien que des recherches futures soient nécessaires pour déterminer les conséquences de cette perte, il est clair que ces espèces assurent des liens entre les écosystèmes. Le rôle des requins et des raies dans le fonctionnement des écosystèmes intertidaux et leur importance pour les moyens de subsistance côtiers devraient être intégrés dans les futures stratégies de conservation.

Resumo

As populações de tubarões e raias (*ou seja*, elasmobrânquios) estão sob pressão das atividades humanas. Este facto, combinado com o seu lento crescimento populacional, resultou no declínio das populações de tubarões e raias. O declínio dos tubarões e raias ameaça o funcionamento dos ecossistemas marinhos e as comunidades locais que dependem da pesca. O impacto das perturbações humanas no papel ecológico dos tubarões e das raias nos ecossistemas intertidais - ou seja, nos habitats (muitas vezes bancos de sedimento mole) expostos durante a maré baixa - é pouco conhecido, especialmente na região da África Ocidental. Nesta tese, abordo esta importante lacuna de conhecimento centrando-me nos dois maiores ecossistemas intertidais da região da África Ocidental: o Banc d'Arguin, na Mauritânia, e o Arquipélago dos Bijagós, na Guiné-Bissau, colocando os resultados obtidos num contexto regional e global (intertidais). Esta tese aborda a questão central: "Como é que a pesca afeta o papel dos tubarões e das raias como predadores intertidais, e como é que isso afeta potencialmente outros predadores (por exemplo, aves costeiras migratórias) e o funcionamento do ecossistema?". Para responder a esta questão, concentro-me em quatro temas, que resumi consecutivamente.

Pescas

Estudámos a extensão da pesca industrial e da pesca artesanal para determinar o seu impacto nas populações de tubarões e raias no Banc d'Arguin e no Arquipélago dos Bijagós (**Secção I**). Para tal, utilizámos dados do 'Sistema de Identificação Automática' (AIS) a bordo dos navios de pesca industrial para determinar a distribuição da sua atividade de pesca perto das duas áreas de estudo (**Capítulo 2**). Em seguida, combinámos estes dados com as informações sobre as capturas de tubarões e raias efetuadas pelos pescadores nas águas da Mauritânia e da Guiné-Bissau. Verificámos que a pesca industrial se concentra em torno das fronteiras das áreas marinhas protegidas, com 72% e 78% da área em torno das fronteiras do Banc d'Arguin e do Arquipélago dos Bijagós afetada pela atividade de pesca, respetivamente. Mostramos ainda que o *bycatch* de tubarões e raias pode ser elevado nestas águas.

Reconstruímos as alterações populacionais ao longo das últimas décadas em ambas as áreas de estudo para determinar valores de referência históricos para tubarões e raias. No Banc d'Arguin, baseámos as tendências populacionais em inquéritos nos locais de desembarque (**Capítulo 3**) e no Arquipélago dos Bijagós, no conhecimento ecológico dos pescadores (**Capítulo 4**). Concluimos que as populações de tubarões

e raias registaram um declínio acentuado, com algumas espécies (grupos), como o peixe-viola-preto (*Glaucostegus cemiculus*) e os tubarões-martelo (*Sphyrna spp.*), a sofrerem um declínio superior a 90% entre 1960 e 2020.

Estes resultados mostram que os tubarões e as raias estão em risco devido à pesca de pequena escala a nível local, enquanto os indivíduos que se deslocam para fora destas áreas estão em risco devido à pesca industrial. Além disso, o habitat marinho disponível nas zonas intertidais diminui drasticamente com o recuo da maré, tornando estas espécies ainda mais suscetíveis de serem capturadas e diminuindo a sua capacidade de sobrevivência nas artes de pesca intertidais. Por conseguinte, investigações futuras devem quantificar o risco relativo de ambas as pescarias para as populações de tubarões e raias nas zonas intertidais e examinar a forma como as pescarias intervêm nos movimentos destas espécies através das fronteiras dos ecossistemas.

Diversidade e história de vida

A falta de informação sobre a ocorrência de tubarões e raias, ou sobre o seu ciclo de vida, dificulta a gestão efetiva destas espécies. Isto é especialmente relevante nas águas pouco estudadas da África Ocidental. Utilizámos o ADN ambiental (eDNA) para determinar a riqueza de espécies da comunidade de elasmobrânquios no Arquipélago dos Bijagós (**Capítulo 5**). Mostrámos que esta técnica pode ser utilizada com sucesso em áreas intertidais remotas e com poucos dados para detetar a presença de tubarões e raias ameaçados. Concluímos que a presença de algumas espécies difere entre as estações seca e chuvosa e que o tubarão-martelo (*Sphyrna lewini*) e a raia-viola (*Sphyrna lewini*), criticamente ameaçados, ainda estão amplamente distribuídos pelo arquipélago. No total, detetámos 13 espécies (2 espécies de tubarões e 11 espécies de raias), das quais 54% estão ameaçadas de extinção. A raia-pérola (*Fontitrygon margaritella*) foi a espécie de elasmobrânquio com maior ocorrência. No **Capítulo 6**, estudámos especificamente esta espécie (raia-pérola) e mostrámos que é uma espécie de crescimento rápido que amadurece entre os 2,2 e os 3,9 anos de idade e completa todo o seu ciclo de vida no Arquipélago dos Bijagós.

Interações entre espécies

Os habitats intertidais são tradicionalmente estudados na perspetiva da maré baixa e das aves costeiras. No entanto, mostramos que os habitats intertidais também são utilizados por várias espécies de tubarões e raias (**Capítulo 7**). Globalmente,

identificámos 43 espécies de tubarões e 45 espécies de raias que utilizam habitats intertidais. Estes habitats são principalmente utilizados como refúgios alimentares por espécies em fase inicial de vida ou por espécies de pequeno porte. Conceptualizámos o habitat intertidal partilhado e a utilização de recursos por tubarões, raias e aves costeiras; e a forma como o declínio das populações de elasmobrânquios pode afetar o funcionamento do ecossistema intertidal. No **Capítulo 8**, estudámos mais aprofundadamente esta potencial sobreposição entre tubarões e aves limícolas (aves costeiras pernaltas) e determinámos que é provável que os elasmobrânquios e as aves limícolas migratórias utilizem habitats intertidais e fontes de alimento semelhantes. A sobreposição do nicho trófico entre as aves marinhas e as raias é especialmente profunda, uma vez que estes grupos de espécies partilham 28 a 42% do seu nicho trófico e alimentam-se em posições semelhantes da rede trófica (posições tróficas 2.3 a 4.3). Assim, embora separadas pela maré, as raias e as aves limícolas exploram presas intertidais semelhantes durante a maré alta e a maré baixa, respetivamente.

Além de desempenharem um papel importante na rede trófica do ecossistema, mostramos também que as raias bentónicas do Arquipélago dos Bijagós podem alterar a biogeomorfologia e as comunidades macrozoobentónicas dos habitats intertidais (**Capítulo 9**). As raias bentónicas, como a raia-pérola, podem revolver toda a camada superior do sedimento a cada 27 dias. Isto prova o impacto das pequenas raias bentónicas em toda a paisagem e sugere que a remoção dos seus predadores ou as pescarias diretamente dirigidas a esta espécie podem ter um impacto mais amplo no funcionamento dos ecossistemas intertidais.

Conservação

Para permitir a inclusão de áreas ecologicamente importantes para tubarões e raias em medidas de conservação baseadas na área, descrevemos critérios para Áreas Importantes para Tubarões e Raias (ISRAs; **Caixa F**). Estas Áreas Importantes para Tubarões e Raias representam áreas importantes para tubarões e raias, como corredores migratórios, áreas com muitas espécies ameaçadas ou áreas de berçário conhecidas. As ISRAs informam os tomadores de decisões sobre as áreas a incluir nas estratégias baseadas na área, se o objetivo for conservar as populações de tubarões e raias. No entanto, os tubarões e as raias não são apenas ecologicamente importantes, mas também fazem parte dos complexos sistemas socioeconómicos de muitas comunidades costeiras, incluindo em ambas as áreas de estudo. Destacamos lições importantes aprendidas com investigadores no terreno que realizaram

avaliações da cadeia de valor do tubarão e salientamos que incluir investigadores e pescadores locais no processo é essencial para a coleta de dados precisos, para a comunicação dos resultados e para a eficácia das estratégias de gestão adaptativa (**Capítulo 10**).

Implicações para a gestão

Esta tese conclui que os tubarões e as raias desempenham um papel importante como predadores e nos sistemas socioeconómicos das comunidades humanas costeiras (intertidais). No entanto, como demonstrado ao longo da tese, os tubarões e as raias intertidais estão ameaçados pela pesca dentro e fora destas zonas costeiras. Por conseguinte, o **Capítulo 11** apresenta numerosas recomendações para inverter a situação para estas espécies na África Ocidental. Estas incluem:

1. Melhorar a recolha de dados sobre as capturas da pesca industrial e da pequena pesca através do reforço da capacidade de investigação local.
2. Identificar zonas ecológicas para tubarões e raias em grandes áreas intertidais para evitar interações entre elasmobrânquios e a pesca ou outras atividades humanas.
3. Restringir a utilização de métodos de pesca intertidais específicos para reduzir a mortalidade por pesca de tubarões e raias.
4. Fazer respeitar os limites das zonas protegidas e limitar a pesca aos navios registados.
5. Envolver as comunidades locais na aplicação dos regulamentos relativos à pesca e garantir a igualdade nas cadeias de valor da pesca.

Sem intervenções adequadas, a perda de tubarões e raias do Banc d'Arguin e do Arquipélago dos Bijagós é iminente. Embora seja necessária investigação futura para determinar as consequências desta perda, é evidente que estas espécies estabelecem ligações entre as fronteiras de diferentes ecossistemas. O papel dos tubarões e das raias no funcionamento dos ecossistemas intertidais e a sua importância para os meios de subsistência costeiros devem ser integrados em futuras estratégias de conservação.

