

Année 2024-2025
Master mention Biodiversité, écologie et évolution (BEE)
Finalité : Biodiversité : fonctions et conservation (Bioeffect)

Présence et impacts des espèces exotiques et envahissantes sur les petites îles de Méditerranée et de Macaronésie

Présenté par Paola Bluche



Crédits: Paola Bluche. Ile du Grand Rouveau, avril 2025.

Structure d'accueil : Initiative pour les Petites îles de Méditerranée (PIM)
Encadrantes : Jeanne Chaumont et Eva Tankovic
Co-encadrant.es : Élise Buisson et Frédéric Médail
Responsable pédagogique : Virginie Baldy

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mes tutrices au sein d'Initiative PIM Jeanne Chaumont et Eva Tankovic pour leur présence et leur encadrement de grande qualité tout au long de ce stage, ainsi que pour leur soutien et leur compréhension à toutes les étapes de ce stage. Je remercie aussi mes professeurs encadrant.es de l'IMBE Élise Buisson et Frédéric Médail pour leurs conseils et savoir-faire.

Je remercie également Madeleine Freudenreich Et Gwenaëlle Daniel pour avoir pris le temps de s'entretenir avec moi et de m'apporter un éclairage sur certaines questions scientifiques.

Je suis très reconnaissante envers toute l'équipe PIM pour l'accueil chaleureux, la bonne ambiance quotidienne et l'aide que de nombreuses personnes m'ont apportée au cours de ce stage. C'était un plaisir de pédaler 1h30 tous les jours pour partager un bureau avec vous tous.tes!

Merci au FFEM pour le financement de ce stage.

Merci à Adelina qui m'a prêté son ordinateur quand le mien a rendu l'âme la dernière semaine, et à Jeanne V. qui m'a rendu un grand service.

Enfin, je souhaite remercier tous.tes les collègues de terrain avec qui j'ai partagé des journées inoubliables sur des îles sublimes, que ce soit pour des suivis naturalistes ou des poses de gîtes pour geckos.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	4
MATÉRIEL ET MÉTHODES	7
1) Sites d'étude	7
2) Collecte de données	8
3) Conceptualisation de la grille	9
a. Onglet description	9
b. Onglet exotiques	10
c. Onglet impacts	12
d. Onglet actions de gestion	14
4) Analyses statistiques	14
a. Statistiques descriptives	14
b. Régression multiple	14
c. Réseaux d'interaction	14
RÉSULTATS	15
1) Statistiques descriptives	15
2) Régression multiple	17
3) Réseau d'interactions bipartite	18
DISCUSSION	21
RÉFÉRENCES DES CITATIONS	24
DÉROULÉ DU STAGE	25
TABLE DES ANNEXES	21
ANNEXES	26

INTRODUCTION

Les invasions biologiques représentent l'une des plus graves menaces pour la biodiversité à l'échelle mondiale, affectant profondément la structure et le fonctionnement des écosystèmes tout comme que les espèces indigènes qui les peuplent (Ehrenfeld 2010). Elles ont été identifiées par l'IPBES comme étant l'un des cinq facteurs directs de changements affectant la nature, avec le changement d'usages des terres et des mers, l'exploitation directe des espèces, le changement climatique et la pollution (IPBES 2019) ; ces menaces sont les principales responsables de l'effondrement de la biodiversité en cours, en lien étroit avec les pressions anthropiques. Les invasions se produisent effectivement dans ce contexte de changements globaux, où les activités humaines facilitent la dispersion d'espèces au-delà de leurs barrières biogéographiques historiques, avec des conséquences désastreuses pour les espèces autochtones (Simberloff et al., 2013). Le rythme des invasions continue d'augmenter, entraînant également des coûts économiques importants (Diagne *et al.* 2020). À l'échelle mondiale, environ 27 % des espèces de mammifères, oiseaux, reptiles et amphibiens sont actuellement menacés par les espèces invasives, qui constituent l'une des principales causes d'extinction d'espèces, tout particulièrement au sein des systèmes insulaires (Sax *et al.* 2002). Le sujet des invasions biologiques est donc un enjeu de conservation majeur et une thématique très étudiée en écologie.

Certaines notions fondamentales de l'écologie des invasions font toutefois débat au sein de la communauté scientifique. Le vocabulaire même des invasions fait l'objet de vives discussions philosophiques et éthiques. Traditionnellement, on définit une espèce exotique comme un organisme introduit (intentionnellement ou non) par l'homme dans un espace où il n'a pas d'histoire évolutive (Soto *et al.* 2024). Le terme d'espèce "envahissante" est employé par des institutions comme l'IUCN pour décrire des espèces exotiques qui ont un impact négatif sur l'environnement, la santé humaine ou l'économie, et qui peut aussi être répandue (Richardson et Pysek 2006). Dans cette étude, nous nous appuyons sur ces définitions, qui sont toutefois très larges et restent sujettes au débat et à l'interprétation.

De fait, certains auteurs remettent en cause la pertinence d'une vision essentialiste, arguant que les dynamiques d'expansion géographique font partie intégrante de l'évolution biologique (Davis *et al.* 2009 ; Haubrock *et al.* 2018). Ce débat s'applique particulièrement en Méditerranée, région où les introductions anciennes et les incertitudes sur l'état de référence des écosystèmes complexifient les définitions de catégories indigène/exotique claires. D'autres

rejettent la notion de “nuisible”, car déterminer si une espèce impact est négatif ou positif relève d'une évaluation anthropocentrique et contextuelle (Haubrock et al. 2018)

Le bassin méditerranéen, en tant que point chaud de la biodiversité mondiale, abrite une richesse biologique exceptionnelle bien qu'il soit soumis à des pressions anthropiques croissantes (Médail et Quézel 1999), dont les invasions biologiques. L'urbanisation intensive de son littoral, sa position de carrefour maritime et le développement des échanges commerciaux en font une région très exposée aux introductions d'espèces (Katsanevakis et al. 2013). De plus, on retrouve dans le bassin méditerranéen des milliers d'îles et îlots qui sont à la fois des refuges de biodiversité et des systèmes fragiles, très impactés par les perturbations (Médail 2017). Les îles sont en effet caractérisées par une richesse spécifique faible, un fort taux d'endémisme et des réseaux trophiques simplifiés (Drake et al. 2002), ce qui les rend particulièrement sensibles aux invasions biologiques (Amori et al. 2008; Berglund et al. 2009). Ainsi, Bellard et al. démontrent dans leur étude portant sur les causes d'extinction des espèces de la Liste Rouge de l'IUCN que 86 % des extinctions dues aux espèces envahissantes ont été reportées sur des îles (Bellard et al. 2016).

Les petites îles sont encore plus vulnérables, à cause de leur faible superficie, la simplicité des réseaux trophiques et l'absence de prédateurs naturels pour les espèces introduites (Whittaker et Fernández-Palacios 2007). Elles sont pourtant des sanctuaires pour les espèces rares et menacées, les zones littorales sont de plus en plus perdues pour la nature et la biodiversité, du fait de la démographie, de l'urbanisation et de la pollution. De plus, ces écosystèmes fonctionnent comme des microcosmes où les processus écologiques sont amplifiés, offrant ainsi des modèles d'étude privilégiés pour comprendre la dynamique des invasions – des laboratoires écologiques, en quelque sorte (Kueffer et al., 2010). À l'échelle d'une petite île, il est donc possible de mettre en place efficacement des suivis plus exhaustifs, et de faire des études plus approfondies pour mesurer les impacts des actions de gestion sur les différentes composantes de l'écosystème.

Elles jouent ainsi un rôle de sentinelles privilégié pour observer l'impact des grands changements globaux ainsi que de tester des protocoles de restauration écologique; elles sont donc très précieuses du point de vue de la conservation.

Cependant, elles ont longtemps été négligées dans la recherche, bien qu'un nombre croissant d'études tende à démontrer leur rôle majeur dans la préservation de la biodiversité et leur intérêt

scientifique (Médail 2017). La nécessité de renforcer les connaissances, les suivis et les actions de gestion au sein de ces espaces exceptionnels est de plus en plus reconnue.

L'ONG Initiative pour les Petites Îles de Méditerranée s'inscrit dans cette dynamique. Initiée par le Conservatoire du littoral en 2006, elle coordonne depuis plus de dix ans un programme international de promotion et d'assistance à la gestion des micro-espaces insulaires méditerranéens et macaronésiens. Initiative PIM s'appuie sur cinq actes d'actions : acquisition de connaissances, renforcement des capacités, mise en place de systèmes de cogestion, restauration d'écosystèmes dégradés, communication et plaidoyer (Initiative PIM 2022). Elle œuvre ainsi à mettre en place un dispositif de partage des savoirs visant à l'émergence de bonnes pratiques de gestion des petites îles, notamment par la formation des différents acteurs de gestion, la mise en place de protocoles de gestion (Initiative PIM 2019). La lutte contre les espèces envahissantes est souvent au cœur de ces actions, et des opérations de dératisation menées par PIM ou ses partenaires se sont révélées efficaces. Sur l'île de Zembretta en Tunisie par exemple, le nombre de couples reproducteurs de puffins Yelkouan a été multiplié par 8,5, trois ans après la dératisation (Bourgeois et al 2023).

Le projet CAIPIM (Connaître, Agir et Innover pour protéger les petites îles de Méditerranée) au sein duquel s'intègre ce projet de recherche, porté par l'Initiative PIM, le Conservatoire du littoral et en partenariat étroit avec l'AMU-IMBE. Il a été initié en 2024 et adopte aussi une approche intégrative qui combine acquisition de connaissances scientifiques, actions et plaidoyer. Il vise à évaluer le rôle écologique des petites îles de Méditerranée et Macaronésie en tant que refuges de biodiversité et sentinelles des changements globaux décrits par l'IPBES, à trois niveaux d'analyses : l'échelle globale (basins), intermédiaire (archipels), et locale (îles) sur laquelle nous travaillons dans cet article. À l'échelle locale, le projet CAIPIM étudie une dizaine de sites pilotes répartis en Méditerranée et Macaronésie, avec l'intention de développer une base de données pour ces sites et mettre en place des protocoles de suivi simples, peu coûteux et réplicables.

Notre étude consiste en une métanalyse qui porte sur les introductions et invasions sur ces sites ainsi que sur les impacts que les espèces peuvent avoir sur l'écosystème local, dans une optique d'informer de futures actions de gestion. Cette synthèse de connaissances se fera par le développement d'un outil utilisable par Initiative PIM afin de recenser et d'analyser les espèces exotiques et envahissantes sur les sites pilotes, qui prendra la forme d'une base de données sur Excel. Nous nous penchons sur les modalités de présence et d'introduction des espèces

exotiques, les différents facteurs qui pourraient expliquer les tendances de présence, ainsi que la manière dont ces espèces impactent l'écosystème insulaire local et les espèces indigènes. Ce travail invite à des réflexions théoriques sur la définition d'espèce "exotique" et "envahissante" afin de standardiser les données, et implique de se situer dans ces débats houleux évoqués plus haut en faisant des choix conceptuels. L'objectif général de ce stage est donc de contribuer à renforcer les connaissances sur les espèces exotiques et envahissantes sur ces sites afin d'améliorer la conservation et la gestion.

À travers l'analyse de la bibliographie disponible sur ces sites et sur les espèces concernées introduites sur des îles, nous avons pour objectif de répondre aux questions de recherche suivantes :

- Comment sont réparties les espèces exotiques et envahissantes sur les sites du projet CAIPIM ?
- Quelles variables influencent l'introduction d'espèces, et quel rôle joue l'homme dans ces introductions ?
- Comment les espèces impactent-elles l'écosystème insulaire ?

Pour la deuxième question, nous pouvons faire l'hypothèse que les variables de présence humaine et d'anthropisation de l'île ont un impact significatif sur sa richesse spécifique exotique, ce qui devient de plus en plus évident dans les études récentes (Caipinha et al 2015). Les deux autres questions de recherche sont plus exploratoires, mais nous pouvons nous attendre à observer que les espèces exotiques sont réparties inégalement en termes de présence, avec des îles où l'on observe une forte richesse spécifique exotique et d'autres très pauvres en espèces introduites.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1) Sites d'étude

Le projet CAIPIM concerne plusieurs archipels répartis de manière hétérogène dans différents pays en Méditerranée et en Macaronésie, qui sont choisis pour être des sites d'étude sentinelles. Il s'agit d'îles choisies pour étudier l'impact des grands changements globaux à l'échelle globale. La liste originelle comportait 10 archipels : les Embiez dans le Var, Gargalu en Corse, Aire au large des Baléares, La Galite et Kuriat en Tunisie, Antimilos en Grèce, Sazani en Albanie, Essaouira au Maroc, Boa Vista au Cap Vert, Chinijo aux Canaries. Certains de ces

sites comme les Embiez ou Gargalu sont bien connus de l'initiative PIM, qui a des liens depuis des années avec les gestionnaires et ont déjà fait l'objet de nombreuses missions naturalistes. Cependant, d'autres ont été choisis récemment pour intégrer le projet et la prise de contact avec les acteurs de la gestion de ces îles est encore à un stade préliminaire. La littérature sur ces sites est donc bien plus partielle, voire inexistante. De plus le projet vient de débuter et la liste des sites pilotes n'est donc pas définitive. Au cours des derniers mois, deux sites (Chinijo et Sazani) ont été retirés de la métanalyse car leur inclusion dans le projet CAIPIM est sujette à débat.

La liste finale des sites analysés est donc constituée des huit sites restants : six en Méditerranée (les Embiez, Gargalu, La Galite, Kuriat, Antimilos, Aire), deux en Macaronésie (Boa Vista et Essaouira au large du Maroc) (Figure 1). Chacun de ces archipels est constitué d'une ou plusieurs îles et îlots, dont la liste complète se trouve en annexe (Annexe 1). Pour trois de ces sites, l'île principale de l'archipel n'est pas inclue dans l'analyse car trop grande pour correspondre à la définition des PIM et étudiée. C'est le cas d'Antimilos (le site est composé de plusieurs îles autour de Milos qui est l'île principale, dont Antimilos qui est la plus grande), d'Aire (Aire et Calgaire sont situées au large de Minorque), et de Boa Vista (Boa Vista n'est pas inclue, seulement ses îlots satellites).



Figure 1 : Sites pilotes du projet CAIPIM

2) Collecte de données

Les données collectées pour réaliser cette métanalyse sont issues de sources très diverses, dont une partie significative de sources non officielles - littérature grise, dires d'experts... La base de données QGis de PIM a été utilisée pour obtenir des données d'occurrence d'espèces,

ainsi que des données descriptives des sites d'études. Les rapports de missions, notes ou suivis naturalistes, inventaires et articles scientifiques produits sur les sites d'études ont été consultés. Certains ont été publiés, d'autres proviennent de la bibliographie interne de PIM, d'autres encore ont été obtenus auprès des gestionnaires et scientifiques travaillant sur les îles avec lesquelles l'Initiative PIM n'était pas familière. Des documents internes de PIM plus informels mais contenant tout de même des données utiles ont été utilisés, comme des présentations PowerPoint. Des informations sur les espèces exotiques et proliférantes présentes sur les sites pilotes ont également été récoltées directement auprès des experts scientifiques et acteurs de la gestion de ces îles, que ce soit par mail ou à l'oral.

Ces données sont de qualité et de quantité très inégale en fonction des îles, souvent incomplètes et datées ; dans certains cas en effet les inventaires les plus récents remontent avant 2010. La quantité de bibliographie consultée est bien supérieure à la bibliographie citée, car de nombreux articles et inventaires ont été lus minutieusement afin d'identifier de potentielles espèces à inclure dans l'analyse.

Les sources bibliographiques consultées sont en langue française, anglaise, espagnole et portugaise. Elles ont été traduites à l'aide de Deepl en cas de besoin pour le portugais et l'espagnol. Toutes les sources sont référencées sur une bibliothèque Zotero, composée d'une collection pour chaque site d'étude ainsi que d'une collection pour les articles traitant des conséquences écologiques de certaines espèces à impact sur d'autres îles en Méditerranée et Macaronésie que celle du projet CAIPIM.

3) Conceptualisation de la grille

La métá-analyse a été effectuée sur un fichier Excel en quatre parties, correspondant à quatre onglets. La conceptualisation de cette grille Excel et le choix des variables sont le fruit d'un long et complexe travail de recherche et de standardisation, qui implique de nombreux choix. Des entretiens ont été réalisés avec différents experts en écologie insulaire ou espèces envahissantes, qui ont apporté leurs conseils dans ce travail.

a. Onglet description

Le premier onglet se concentre sur la description des caractéristiques générales des sites d'étude : pour chaque île sont renseignés entre autres la superficie, la distance au continent, la distance à l'île principale de l'archipel, un indice d'anthropisation calculé à partir de six variables, le pourcentage d'artificialisation de l'île, la date des derniers inventaires réalisés sur l'île pour

chaque groupe taxonomique - quand l'information existe et qu'elle est disponible. Pour une liste complète des variables, de leur unité et une description des mots clés standardisés ainsi que de la méthode utilisée pour remplir la grille, voir Annexe 2.

b. Onglet exotiques

Le deuxième onglet est plus complexe et a pour objectif d'analyser la présence et l'historique des espèces exotiques sur les îles du projet CAIPIM. Les espèces autochtones à impact ne sont donc pas incluses. Afin d'assurer la compatibilité avec la base de données PIM, nous avons opté pour un format où les listes sont situées en en-tête des colonnes pour cet onglet et les suivants. Sur la première colonne à gauche, on a la liste des espèces présentes sur les sites; sur la deuxième colonne, on retrouve la liste de variables à renseigner pour chaque espèce et chaque île où cette espèce est présente. C'est une étape de l'analyse qui a requis un long travail de décision et de nombreux aller-retours pour chaque variable afin de s'arrêter sur une liste de mots-clés définitive, car les dilemmes qui se sont posés sont parfois des sujets qui divisent la communauté scientifique (pour une description et une justification détaillée des choix de variables et de mots clés, voir Annexe 3)

À noter que l'Initiative PIM travaille essentiellement sur le domaine terrestre et que les données sur les espèces marines sont rares. Afin de simplifier une analyse déjà complexe, on exclut donc les quelques espèces marines qui ont pu être identifiées.

Le défi majeur qui s'est posé initialement était de définir date d'introduction au-delà de laquelle on considère qu'une espèce introduite n'est plus exotique mais bien naturalisée. Cette question fait débat et les différentes listes officielles d'espèces exotiques et envahissantes produites aux échelles nationales et internationale n'utilisent pas les mêmes standards. De nombreuses instances ne considèrent une espèce comme exotique que si elle a été introduite sur le territoire à partir de l'époque moderne ; la date de 1492 est utilisée, soit la date de l'arrivée de Christophe Colomb en Amérique à partir de laquelle les déplacements et les introductions d'espèces ont significativement augmenté. Une espèce introduite qui a colonisé un territoire avant 1492 est désignée par le terme archéobiote ; après 1492, on utilise le terme de néobiote. La stratégie régionale relative aux espèces animales envahissantes en Provence-Alpes-Côte d'Azur, développée par l'Agence Régionale de la Biodiversité et de l'Environnement (ARBE), utilise la date de 1850 qui correspond à la fin de la révolution industrielle (ARBE 2024). D'autres experts encore considèrent que toutes les espèces introduites après l'Holocène sont exotiques ; ainsi, l'Inventaire national du patrimoine naturel

(INPN) développé par le Muséum national d'histoire Naturelle et l'Office Français de la Biodiversité répertorie le rat noir *Rattus rattus* (probablement introduit en Europe dans l'Antiquité) comme exotique. Cependant, de nombreuses autres instances ainsi qu'une grande partie des experts interrogés ne le considère pas comme introduit ; et pourtant, il est systématiquement présenté dans la littérature des PIM comme une espèce envahissante, et donc nécessairement exotique. C'est le cas de plusieurs autres espèces identifiées sur les sites CAIPIM, comme la souris grise *Mus musculus*. Plusieurs autres espèces comme le lapin commun *Oryctolagus cuniculus* ou le chat *Felis silvestris* sont indigènes sur le continent mais pas sur les îles du projet, où elles ont été introduites plus ou moins récemment. Malheureusement les dates d'introduction de ces espèces sont souvent très incertaines, ce qui rend difficile l'élaboration d'une liste précise d'espèces introduites après 1492. Afin de résoudre ce problème, nous avons décidé d'inclure dans l'onglet exotiques toutes les espèces introduites après l'Holocène, et d'ajouter une variable "origine" où l'on peut renseigner un mot-clé "archeobiote" ou "neobiote", quand cette information est connue. En cas de flou on ne code rien.

Lorsqu'une espèce est observée sur une île, on code un certain nombre de variables : pour la variable "presence", on code 0 ou 1 si l'espèce est présente actuellement ; pour la variable "presence_hist" on code 0 ou 1 si l'espèce a été historiquement présente sur l'île, même si ce n'est plus le cas. En calculant la somme de chacune de ces deux variables pour chaque île, on obtient respectivement la richesse spécifique exotique actuelle et la richesse spécifique exotique totale.

On code ensuite le groupe taxonomique de l'espèce, la première et la dernière observation mentionnées dans la littérature, le facteur d'introduction de l'espèce (l'introduction est-elle intentionnelle ou non intentionnelle ?). Puis on renseigne son statut de présence sur l'île à l'aide d'une liste de mots-clés établie en s'inspirant de la méthode de classification de l'INPN: espèce établie, non établie, disparue, éradiquée, absente (voir Annexe 2 pour plus d'informations sur cette classification).

Enfin, on détermine si l'espèce est envahissante. Le codage de cette variable aussi soulève de nombreuses questions, car comme expliqué en introduction il existe de nombreuses définitions d'une espèce envahissante et les différentes listes officielles qui existent à différentes échelles n'utilisent ni la même définition, ni les mêmes critères. La définition

officielle de l’IUCN d’une espèce envahissante est la suivante : « espèce introduite (volontairement ou accidentellement) par l’Homme, dans un nouveau territoire hors de son aire de distribution naturelle, dont l’implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences sur les services écologiques et/ou socio-économiques et/ou sanitaires négatives » (IUCN 2016). La détermination du caractère invasif d’une espèce est également très contextuelle, une espèce exotique pourrait être inoffensive sur le continent et donc mentionnée dans aucune liste officielle d’espèces envahissantes, mais présenter des tendances envahissantes sur une île. À l’inverse, une espèce classée comme envahissante sur le territoire national par exemple pourrait ne pas l’être à une échelle plus locale. De plus, il existe une profusion de listes réalisées à différentes échelles (mondiale, européenne, méditerranéenne, nationale, régionale...) mais elles sont inégalement réparties : il existe de nombreuses listes officielles en France, très peu au Cap vert. Tous ces éléments rendent donc impossible la possibilité d’utiliser des listes avec des standards et des échelles similaires pour tous les sites d’étude. On décide donc d’utiliser les évaluations les plus locales possibles, ce qui signifie que si une espèce ne figure pas sur une liste officielle mais qu’elle a été décrite par un expert local comme envahissante sur l’île, on la code comme telle. Les espèces déterminées comme envahissantes dans cet onglet seront ensuite transférées et codée dans l’onglet suivant qui analyse leur impact. Un certain nombre d’entre elles seront donc identifiées sur des listes régionales ou nationales, sans avoir de caractère directement invasif sur l’île; elles sont seulement potentiellement envahissantes, mais il est intéressant de les inclure dans la suite de l’analyse car elles représentent une menace sur un territoire proche et sont donc à surveiller de près.

Enfin on cite les références bibliographiques pour chaque espèce.

c. Onglet impacts

Le troisième onglet vise à standardiser les impacts des espèces envahissantes sur l’écosystème insulaire des sites d’étude du projet CAIPIM. Pour ce faire, nous avons tout d’abord dû nous pencher sur la définition d’une espèce envahissante comme décrit plus haut et nous interroger sur sa pertinence dans le cadre de notre métanalyse, qui comme expliqué en introduction vise avant tout à informer la conservation et les actions de gestion. Nous avons choisi d’inclure dans notre métanalyse les espèces autochtones considérées comme proliférantes ou expansionnistes, car ce qui nous intéresse est d’identifier les espèces qui menacent l’écosystème afin d’adapter la gestion en conséquence. Prendre en compte le fait qu’elles soient

indigènes ou exotiques ne change pas leur impact, et peut au contraire mener à un biais dans la gestion : à trop se focaliser sur les espèces envahissantes, considérées comme des espèces nuisibles par excellence, le risque serait de négliger les espèces autochtones qui ont des impacts négatifs tout aussi importants sur l'écosystème (dans la mesure ou déterminer si un impact est négatif est contextuel et anthropocentré). Nous utiliserons donc le termes d'espèces à impacts ou espèces impactantes pour regrouper les espèces considérées comme des menaces pour les îles sentinelles.

Nous avons ensuite étudié et tenté d'appliquer différentes méthodologies existantes visant à évaluer l'impact des espèces exotiques envahissantes afin de s'en aspirer pour concevoir une méthodologie applicable à l'échelle des archipels étudiés. La principale est le standard EICAT (Environmental Impact Classification of Alien Taxa) développé avec l'appui du Groupe de spécialistes de l'IUCN sur les espèces exotiques envahissantes, qui standardise les impacts en 13 catégories de mécanismes d'impacts, et une quarantaine de conséquences d'impacts - sans les quantifier. L'autre est le GISS (General Impact Scoring System), une méthode plus simple consistant en un système de 12 catégories d'impacts écologiques et socio-environnementaux quantifiés de 1 à 6 (Nentwig et al. 2016). Ces deux standards sont tout de même trop complexes pour être appliqués à l'échelle d'une quarantaine d'îles dans le cadre d'un stage de six mois,. Finalement, après avoir avancé dans le codage des informations nous avons opté pour une autre approche qui nous paraissait plus pertinente pour répondre aux besoins de PIM. Nous avons préféré classifier les impacts de chaque espèce sur les différentes composantes de l'écosystème insulaire, à savoir la faune, la flore, la mammifaune, l'avifaune et les invertébrés autochtones; l'habitat abiotique; les activités humaines (voir Annexe 4 pour une explication détaillée de ces différentes variables). De cette manière, nous observons ce qui est impacté, plutôt que comment c'est impacté, ce qui nous intéresse plus au regard de nos objectifs de recherche. Cette méthodologie nous permet ainsi de cibler clairement les menaces que représentent les espèces impactantes pour l'écosystème insulaire, et d'identifier les potentielles actions de gestion à mener.

Chacun de ces impacts est quantifié sur une échelle très simple de 0 à 2 (0 = pas d'impact observé; 1 = impact léger à moyen; 2 = impact très significatif, observable). On code 0 quand l'impact n'est pas renseigné dans la littérature sur l'espèce ni sur l'île concernée, 2 quand l'impact est décrit comme étant significatif dans la littérature, et 1 quand on sait que l'impact existe mais qu'il n'est pas particulièrement observable ou décrit dans la littérature du site. Enfin, on attribue un score d'impact général de 0 à 2 à l'espèce sur l'île.

Nous manquons de données dans la plupart des cas pour faire une analyse plus précise, et même dans ce contexte cette échelle implique de faire des choix de codage parfois approximatifs. Nous prenons ce parti, car l'intérêt de cette étude n'est pas de réaliser une analyse ultra précise des impacts, trop complexe, mais plutôt de faire une estimation afin d'avoir une vision globale des espèces à cibler par des actions de gestion. Ainsi, une espèce à laquelle on attribuerait un impact général de 2 serait identifiable immédiatement comme menaçante et prioritaire pour la gestion. On rajoute une variable gestion pour renseigner si une mesure de gestion de l'espèce a déjà été recommandée dans la littérature, si elle est en cours ou si elle n'a pas encore été recommandée.

La catégorie d'impact EICAT est également renseignée, à l'échelle mondiale et à l'échelle nationale quand l'évaluation est disponible, ce qui est le cas pour très peu d'espèces et de pays.

d. Onglet actions de gestion

Le dernier onglet répertorie les différentes actions de gestion menées sur les îles du projet CAIPIM, qu'elles soient menées par PIM ou non. Il renseigne entre autres le type d'action mené, sa date de début et sa date de fin, son résultat. Les actions sont peu nombreuses et cet onglet sert donc plus à visualiser les quelques actions prises qu'à réaliser des analyses statistiques.

4) Analyses statistiques

a. Statistiques descriptives

Nous réalisons un diagramme en bâtons afin de représenter la richesse spécifique exotique et invasive actuelles ; un autre pour représenter la richesse spécifique exotique par île et par groupe taxonomique

b. Régression multiple

Nous effectuons une régression multiple afin de tester la richesse spécifique exotique en fonction de la distance au continent de l'île, de sa superficie, de son pourcentage d'artificialisation et de son indice d'anthropisation.

c. Réseaux d'interaction

Nous réalisons un réseau d'interaction bipartite pour chaque type d'impact : en haut les espèces impactantes, en bas les îles principales, et l'épaisseur du lien correspondant à la sévérité de l'impact. Pour que le réseau soit lisible, nous concaténons les données par archipel en gardant

la valeur maximale de l'impact qui a été répertoriée sur l'archipel (si *Rattus rattus* a un impact général de 2 sur l'île des Embiez et de 0 sur l'île du Petit Rouveau, on inscrit 2 pour l'archipel des Embiez).

RÉSULTATS

5) Statistiques descriptives

Une rapide analyse des données nous révèle que sur les 37 îles et îlots du projet CAIPIM, on trouve 91 espèces exotiques différentes, 132 présences actuelles d'espèces exotiques et 66 présences d'espèces exotiques envahissantes (sachant qu'une espèce peut être présente sur plusieurs îles, et qu'une même espèce peut être considérée comme envahissante sur un site, mais pas sur un autre). Sur les 132 présences d'espèces exotiques, 70 ont été introduites intentionnellement par l'homme, ce qui représente 53% des introductions.

Nous observons sur la Figure 2 que la richesse spécifique exotique est très inégalement répartie en fonction des sites : sur la grande majorité des îles, on retrouve moins de 10 espèces exotiques, et encore moins d'espèces envahissantes. Seules 3 îles dépassent ce chiffre, chacune étant l'île principale de son archipel : l'île des Embiez, la Galite et Kuriat. Il y a donc une très large majorité d'îles qui abritent peu ou pas d'espèces exotiques et envahissantes, contre une très petite minorité d'îles qui en abritent beaucoup.

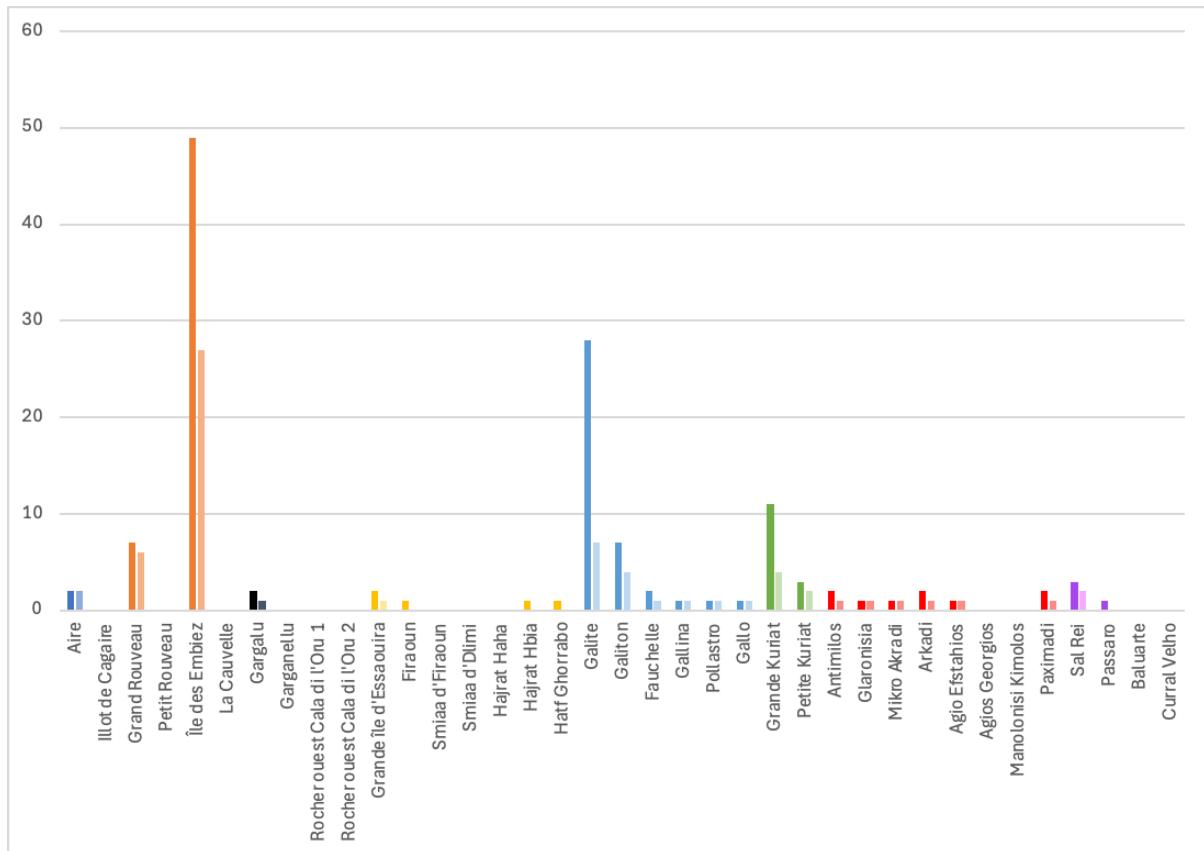


Figure 2 : Diagramme en bâton de la richesse spécifique actuelle exotique et invasive, par île et par archipel. Pour chaque île, le bâton de gauche plus foncé représente la richesse spécifique exotique. Le bâton de droite plus clair représente la richesse spécifique invasive. Les groupements de même couleur correspondent aux archipels

On observe également que l'écrasante majorité de ces espèces introduites sont des plantes (Figure 3), avec plusieurs espèces de mammifères introduits, très peu d'herpétofaune et d'invertébrés exotiques, et aucun oiseau exotique. Cependant, on observe que les mammifères introduits sont présents sur la majorité des îles : 22 îles, ce qui représente 59% de notre échantillon. Une partie conséquente des plantes exotiques sont des plantes ornementales qui ont été introduites volontairement par l'homme. Sur l'île des Embiez qui est la plus anthropisée, on retrouve un nombre important de ces espèces ornementales, ce qui fait d'elle l'île avec le plus d'espèces exotiques.

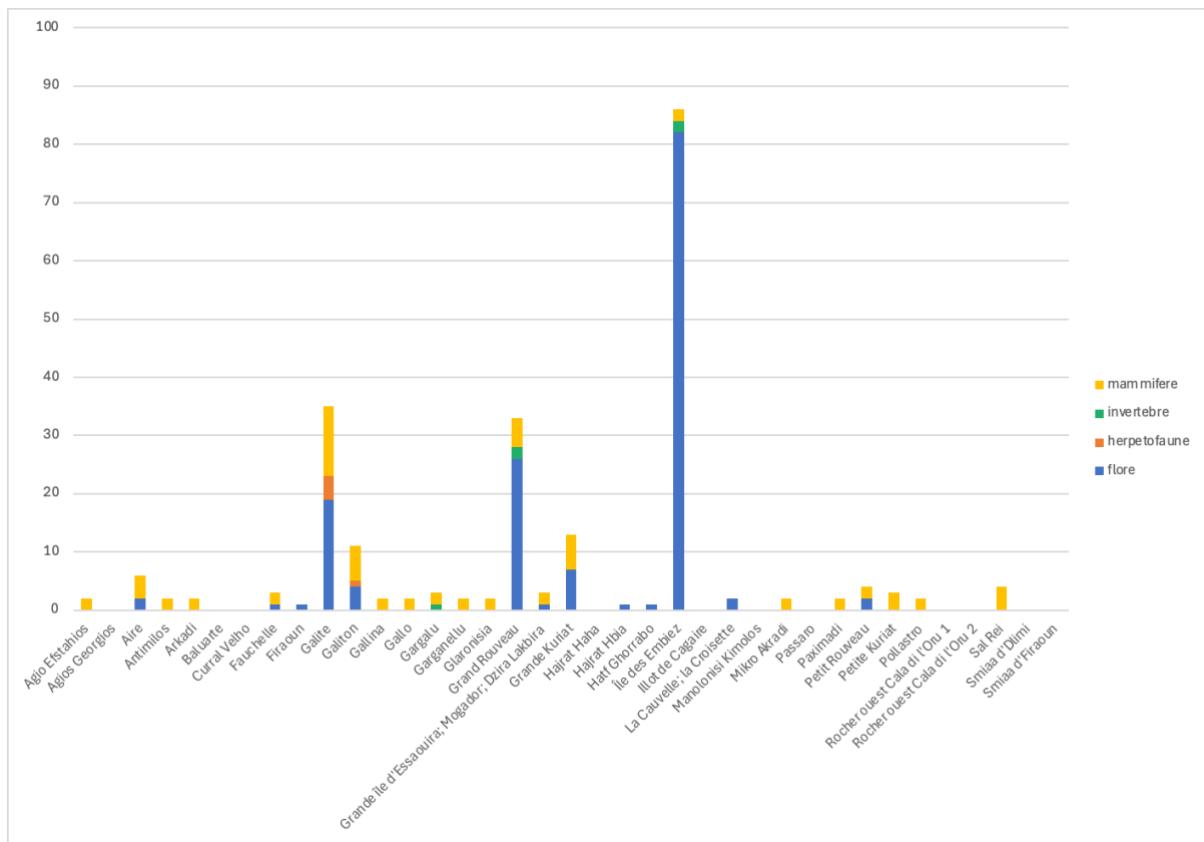


Figure 3 : Diagramme en bâtons de la richesse spécifique exotique par île et par groupe taxonomique

6) Régression multiple

Sur la Figure 4, on observe que la richesse spécifique exotique est impactée de manière significative par la superficie de l'île ($p<0,1$), et de manière très significative par son artificialisation et son anthropisation ($p<0.0001$). Cependant, la distance au continent s'est révélée ne pas être significative, elle a donc été écartée du modèle final.

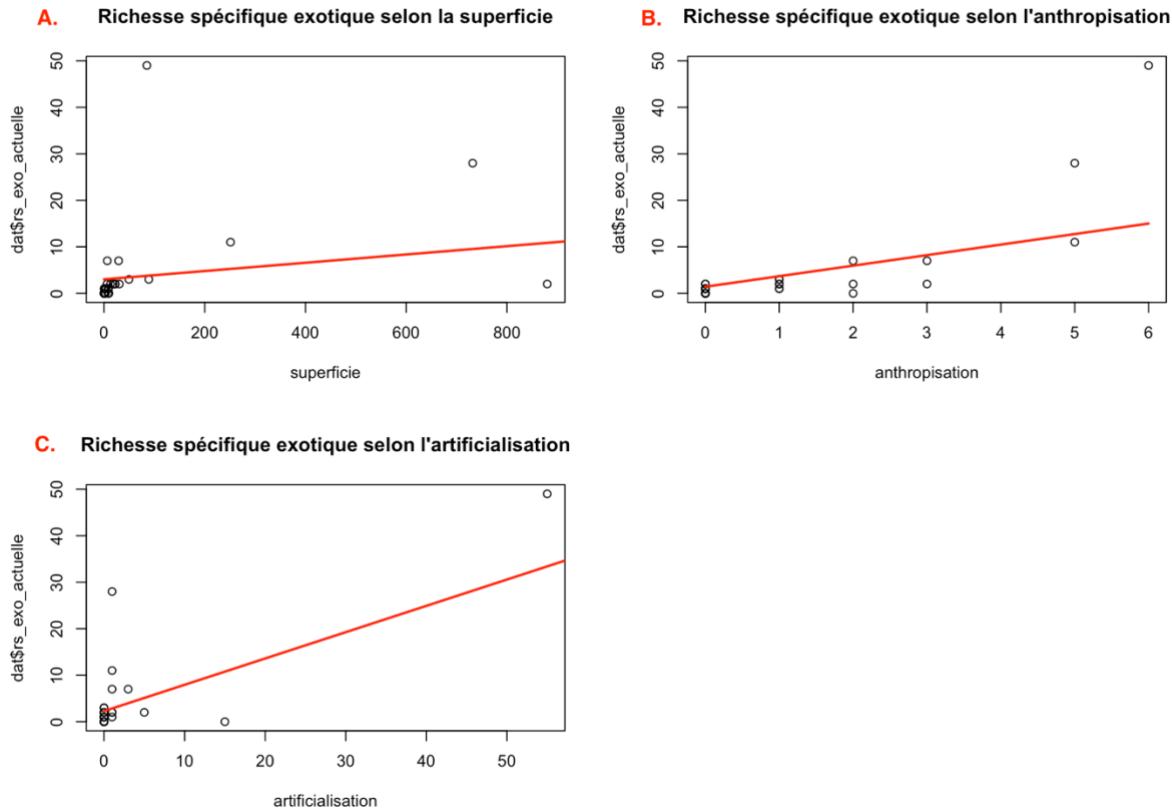


Figure 4 : Effets sur la richesse spécifique exotique de la superficie en hectares (A.), de l'anthropisation évaluée par un indice allant de 0 (anthropisation minimale) à 6 (anthropisation maximale) (B.) et de l'artificialisation de l'île en % (C.)

7) Réseau d'interactions bipartite

40 espèces se trouvent sur la liste d'espèces impactantes, sachant que certaines espèces comme le goéland leucophée sont problématiques sur certains sites, mais pas sur d'autres. Le premier réseau bipartite obtenu en permet de visualiser rapidement l'impact général de chaque espèce sur les sites d'étude du projet CAIPIM (Figure 5). Les autres réseaux obtenus représentant chacun l'impact de ces espèces sur la flore, l'herpétofaune, les invertébrés, l'avifaune et la mammofaune permettent de visualiser plus précisément comment elles affectent ces différents éléments des écosystèmes insulaires (Figure 6). On observe que la plupart des espèces sont présentes sur une seule ou très peu d'îles, et ont peu d'impact ; tandis qu'un petit nombre d'espèces très impactantes sont présentes sur un plus grand nombre d'îles, et ont des impacts plus conséquents. De plus, on retrouve ces mêmes espèces à fort impact sur un plus grand nombre de réseaux, ce qui signifient qu'elles impactent un plus grand nombre de composantes de l'écosystème insulaire. C'est le cas notamment pour plusieurs espèces de mammifères

comme *Oryctolagus cuniculus*, *Capra aegagrus*, *Rattus rattus*, *Felis silvestris*. Ces espèces envahissantes ont été introduites sur de très nombreuses îles, où elles ont des effets conséquents sur différents aspects de l'écosystème. À l'inverse, la plupart des plantes ne sont présentes que sur une seule île, où elles sont peu abondantes et impactent un nombre plus restreint de groupes taxonomiques, de manière moins sévère.

Nous notons également que la flore a tendance à être affectée par un plus grand nombre d'espèces à impact, contrairement aux autres groupes taxonomiques, qui sont majoritairement impactés par les mammifères.

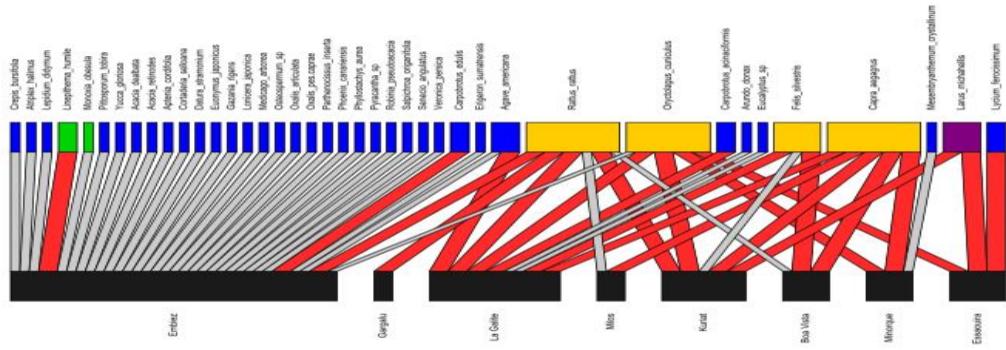
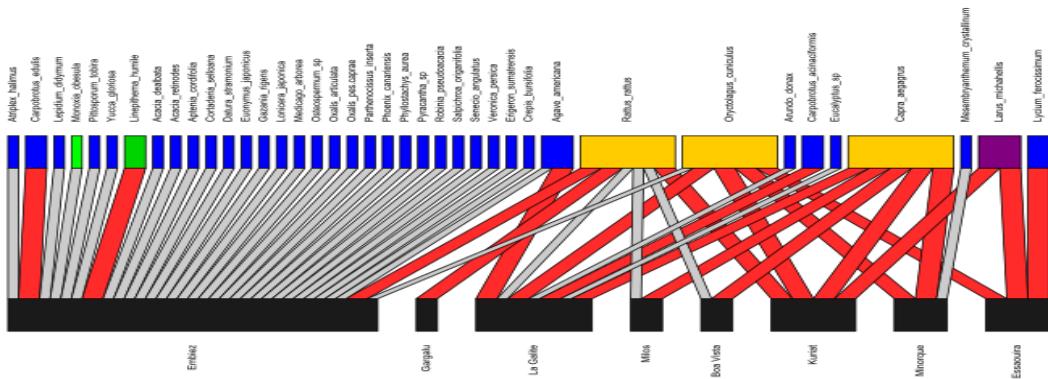
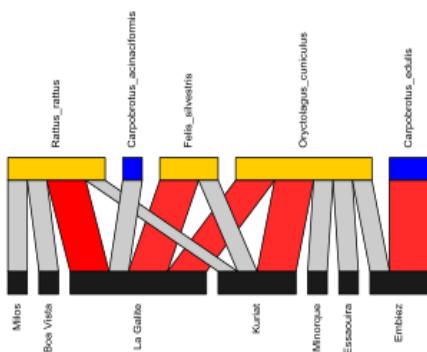


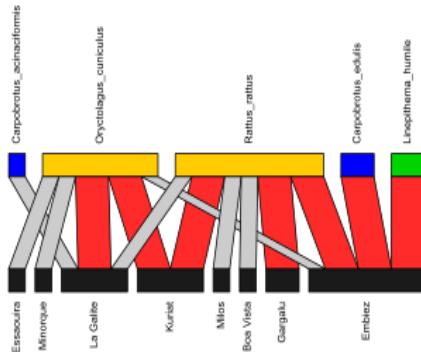
Figure 5 : Réseaux d'interaction bipartites avec en haut, la liste des espèces impactantes ; en bas, les archipels du projet. Les liens les plus épais colorés en rouge correspondent à un impact de niveau 2, tandis que les moins épais en gris correspondent à un impact de niveau 1. Les noeuds correspondant aux espèces sont colorés par groupe taxonomique, selon la légende.



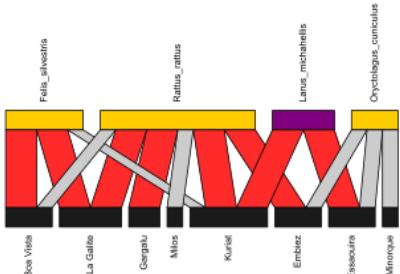
A.



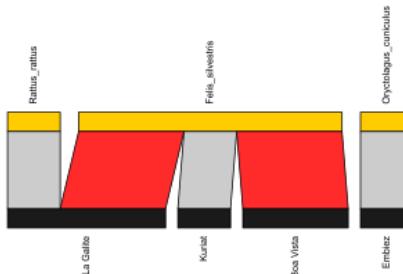
B.



C.



D.



E.

Figure 6 : Réseaux d'interactions bipartites représentant l'impact général des espèces sur l'écosystème de chaque archipel. Chaque réseau correspond à un type d'impact. En (A.), on observe l'impact sur la flore : sur ce réseau, on peut visualiser l'impact de chaque espèce sur la flore des différents sites d'étude. En (B.), on visualise l'impact de chaque espèce sur l'herpétofaune autochtone de chaque archipel, sur les invertébrés en (C.), l'avifaune en (D.) et la mammofaune en (E.).

DISCUSSION

1) Discussion des résultats

Les résultats obtenus confirment nos hypothèses de recherche. Les statistiques descriptives montrent que la richesse spécifique exotique est effectivement très inégale en fonction des îles.

De plus, la majorité des espèces introduites présentes sur les îles sentinelles sont des plantes, ce qui est conforme à la littérature. Plusieurs études et métanalyses décrivent que les plantes vasculaires sont surreprésentées parmi les introductions d'espèces (IPBES 2019 ; Pysek *et al.* 2020). Le rapport de l'IPBES de 2019 indique en effet que 13000 à 18000 espèces introduites sont des plantes, contre moins de 7000 pour les insectes et moins de 1000 pour les mammifères et les oiseaux. Cette prépondérance des plantes peut être expliquée par leur capacité de dispersion efficace sans l'assistance des humains, mais aussi par des facteurs anthropiques : l'agriculture et l'horticulture sont effectivement des facteurs majeurs d'introduction de plantes exotiques (Mashhadi et Radosevic 2004 ; Pysek *et al.* 2020; van Kleunen *et al.* 2018). La forte proportion d'espèces végétales introduites volontairement à des fins ornementales sur les sites CAIPIM illustre cette tendance. La flore exotique de l'île des Embiez est ainsi constituée principalement d'espèces plantées (Sinama *et al.* 2008)

Cependant, sur la liste européenne des espèces introduites avec les impacts les plus importants se trouvent 54 espèces de plantes, 49 espèces d'invertébrés et 40 espèces de vertébrés (Nentwig *et al.* 2018). Les données disponibles sur les sites CAIPIM ne sont pas représentatives de cette répartition : parmi les espèces ayant les impacts les plus sévères, on retrouve majoritairement des mammifères, peu de plantes et d'invertébrés alors même qu'il y a un nombre élevé de plantes envahissantes. Cela peut être expliqué par le fait que plusieurs des plantes très envahissantes de notre analyse ont été plantées et que même quand elles se sont échappées sur l'île, leur colonisation de l'île reste limitée et leurs impacts aussi, ce qui est le cas sur l'île des Embiez.

Nous pouvons rattacher ces résultats à ceux de la régression multiple, qui vise à éclairer les facteurs qui pourraient expliquer des richesses spécifiques exotiques aussi inégales. La théorie de la biogéographie insulaire stipule que le nombre d'espèces sur une île est déterminé par un équilibre entre le taux d'immigration et le taux d'extinction, et que ces taux sont principalement influencés par la distance de l'île au continent et par la superficie, respectivement (MacArthur et Wilson 1967). On pourrait donc s'attendre à ce que ces variables de distance et de superficie

testées dans notre analyse pour expliquer la richesse spécifique exotique soient significatives. L'échantillon d'îles dont nous disposons, bien que limité, révèle que la distance au continent n'est pas significative et que la superficie l'est moins que les deux autres variables testées : le pourcentage d'artificialisation de l'île et son degré d'anthropisation. Un nombre croissant d'études établit que si la distance et la superficie restent des facteurs importants pour expliquer la biodiversité native, elles ont été surpassées par les variables anthropiques (densité de population, agriculture, trafic touristique, ...) comme principaux moteurs des introductions modernes d'espèces exotiques (Capinha *et al.* 2015 ; Moser *et al.* 2018). L'humain est devenu le principal vecteur de dispersion à l'échelle planétaire.

Les mammifères situés à des niveaux trophiques plus élevés ont des impacts plus sévères.

2) Limites

-nombre d'îles limité = échantillon statistique faible

-hétérogénéité des données (îles avec peu de connaissances ou très datées, îles peu d'espèces envahissantes et d'autres bcp plus = très déséquilibré)

- hétérogénéité des données en fonction des compartiments (inventaires mammifères très détaillés, entomofaune bcp moins, ...)

- marin laissé de côté complètement car trop peu de données et rajouteraient trop de complexité niveau périmètre, etc).

- Travail de standardisation très complexe sur les définitions et les impacts, choix assez arbitraires. --> limites et incertitudes très nombreuses, débats possibles pour une grande partie des choix

- standardisation des impacts particulièrement arbitraire : dans beaucoup de cas, très peu d'informations

- Référentiels très divers avec des critères différents pour les EEE par exemple – pas autant de littérature et listes en Tunisie qu'en France par exemple. Sources très diverses des données

==> Sujet très vaste et standardisation complexe pour au final peu de données

3) Perspectives et implications pour la recherche

-travail repris par un postdoc de l'IMBE pour approfondir le sujet

-donne des informations précieuses sur les tendances des espèces exotiques, ce qui renseigne sur les pratiques de gestion

Cette métanalyse permet d'estimer efficacement quelles espèces ont l'impact le plus négatif sur l'écosystème et sont prioritaires pour être ciblées par des actions de gestion.

RÉFÉRENCES DES CITATIONS

- Amori, G., Gippoliti, S. & Helgen, K.M. (2008). Diversity, distribution, and conservation of endemic island rodents. *Quaternary International*, 182, 6–15.
- Bellard, C., Genovesi, P. & Jeschke, J.M. (2016). Global patterns in threats to vertebrates by biological invasions. *Proc. R. Soc. B.*, 283, 20152454.
- Berglund, H., Järemo, J. & Bengtsson, G. (2009). Endemism Predicts Intrinsic Vulnerability to Nonindigenous Species on Islands. *The American Naturalist*, 174, 94–101.
- Bourgeois, K., Ouni, R., Pascal, M., Dromzée, S., Fourcy, D. & Abiad, A. (2013). Dramatic increase in the Zembretta Yelkouan shearwater breeding population following ship rat eradication spurs interest in managing a 1500-year old invasion. *Biological Invasions*, 15, 475–482.
- Capinha, C., Essl, F., Seebens, H., Moser, D. & Pereira, H.M. (2015). The dispersal of alien species redefines biogeography in the Anthropocene. *Science*, 348, 1248–1251.
- Davis, M.A. (2009). *Invasion Biology*. OUP Oxford.
- Diagne, C., Leroy, B., Vaissière, A.-C., Gozlan, R.E., Roiz, D., Jarić, I., et al. (2021). High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature*, 592, 571–576.
- Drake, D.R., Mulder, C.P.H., Towns, D.R. & Daugherty, C.H. (2002). The Biology of Insularity: An Introduction. *Journal of Biogeography*, 29, 563–569.
- Ehrenfeld, J.G. (2010). Ecosystem Consequences of Biological Invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 4, 59–80.
- Haubrock, P., Parker, B., Błońska, D., Briski, E., Everts, T., Fernandez, R., et al. (2024). Conceptual and Ethical Considerations in Invasion Science. *BioScience*, 75.
- Initiative PIM. (2019). *Stratégie de lutte contre le Rat noir sur les espaces insulaires de la région PACA*. Available at: https://oiseaux-marins.org/upload/ideit/1/pj/364_1814_201906_Strategie_lutte_Rat_AFB_PIM_Avril2019.pdf. Last accessed 11 February 2025.
- Initiative PIM. (2022). *Rapport d'activités 2022*.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. Zenodo.
- Katsanevakis, S., Zenetos, A., Belchior, C. & Cardoso, A.C. (2013). Invading European Seas: Assessing pathways of introduction of marine aliens. *Ocean & Coastal Management*, 76, 64–74.
- van Kleunen, M., Essl, F., Pergl, J., Brundu, G., Carboni, M., Dullinger, S., et al. (2018). The changing role of ornamental horticulture in alien plant invasions. *Biological Reviews*, 93, 1421–1437.
- Kueffer, C., Drake, D. & Fernández-Palacios, J.M. (2016). *Island Biology*.
- MacArthur, R.H. & Wilson, E.O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press.
- Mashhadi, H.R. & Radosevich, S.R. (2004). Invasive Plants. In: *Weed Biology and Management* (ed. Inderjit). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1–28.
- Médail, F. (2017). Intérêt des petites îles de Méditerranée dans la compréhension des processus écologiques et évolutifs ; leur place dans la conservation de la flore littorale, 31, 173–188.
- Médail, F. & Quézel, P. (1999). Biodiversity Hotspots in the Mediterranean Basin: Setting Global Conservation Priorities. *Conservation Biology*, 13, 1510–1513.
- Moser, D., Lenzner, B., Weigelt, P., Dawson, W., Kreft, H., Pergl, J., et al. (2018). Remoteness promotes biological invasions on islands worldwide. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 9270–9275.
- Nentwig, W., Bacher, S., Kumschick, S., Pyšek, P. & Vilà, M. (2018). More than “100 worst” alien species in Europe. *Biol Invasions*, 20, 1611–1621.

- Nentwig, W., Bacher, S., Pyšek, P., Vilà, M. & Kumschick, S. (2016). The generic impact scoring system (GISS): a standardized tool to quantify the impacts of alien species. *Environ Monit Assess*, 188, 315.
- Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., *et al.* (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95, 1511–1534.
- Richardson, D.M. & Pyšek, P. (2006). Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invasibility. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 30, 409–431.
- Sax, D.F., Gaines, S.D. & Brown, J.H. (2002). Species Invasions Exceed Extinctions on Islands Worldwide: A Comparative Study of Plants and Birds. *The American Naturalist*, 160, 766–783.
- Simberloff, D., Martin, J.-L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D.A., Aronson, J., *et al.* (2013). Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 58–66.
- Sinama, Petit & Santonja. (2008). *Caractérisation de la richesse floristique de l'île des Embiez et réponses face aux menaces biologiques et anthropiques*.
- Soto, I., Balzani, P., Carneiro, L., Cuthbert, R.N., Macêdo, R., Serhan Tarkan, A., *et al.* (2024). Taming the terminological tempest in invasion science. *Biological Reviews*, 99, 1357–1390.
- Whittaker, R.J. & Fernandez-Palacios, J.M. (2007). *Island Biogeography: Ecology, Evolution, and Conservation*. OUP Oxford.

DÉROULÉ DU STAGE

Au cours de ce stage, j'ai participé à de nombreuses missions et mises en situation professionnelles qui se sont révélées très enrichissantes.

J'ai assisté en février à la réunion de signature du renouvellement du label ASPIM de l'archipel des Embiez (Var) en présence des différents acteurs de la gestion de cet archipel : l'Initiative PIM, la ville de Six-Fours-les-Plages, des évaluateurs de l'Office français de la biodiversité et du ministère de la transition écologique, ainsi que des experts internationaux partenaires de PIM.

J'ai suivi une formation sur les tableaux croisés dynamiques à Avignon.

J'ai participé à des missions de suivis naturalistes sur l'île du Grand Rouveau : des suivis hivernaux botanique et entomologique en février ; un inventaire des nids de goélands leucophées en mai.

J'ai assisté aux journées francophones d'échanges techniques sur les espèces exotiques envahissantes en tant que porte-parole d'Initiative PIM. J'ai pu y présenter l'ONG et ses actions ainsi que mon travail, avec comme support un poster scientifique que j'ai réalisé.

J'étais présente en juillet au Copil de CAIPIM à Six-Fours-les-Plages dans le cadre de l'évaluation de la première année du projet, avec les bailleurs du projet et de l'association.

Enfin, j'étais membre d'une mission sur l'île de Riou en juillet, au cours de laquelle nous avons posé des gîtes pour les Phyllodactyles d'Europe,

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des îles et îlots inclus dans la métanalyse par archipel et par bassin

bassin	archipel	île
Méditerranée	Minorque	Aire
Méditerranée	Minorque	Illet de Cagaire
Méditerranée	Embiez	Grand Rouveau
Méditerranée	Embiez	Petit Rouveau
Méditerranée	Embiez	Île des Embiez
Méditerranée	Embiez	La Cauvette
Méditerranée	Gargalu	Gargalu
Méditerranée	Gargalu	Garganellu
Méditerranée	Gargalu	Rocher ouest Cala di l'Oru 1
Méditerranée	Gargalu	Rocher ouest Cala di l'Oru 2
Macaronésie	Essaouira	Grande île d'Essaouira
Macaronésie	Essaouira	Firaoun
Macaronésie	Essaouira	Smiaa d'Firaoun
Macaronésie	Essaouira	Smiaa d'Dlimi
Macaronésie	Essaouira	Hajrat Haha
Macaronésie	Essaouira	Hajrat Hbia
Macaronésie	Essaouira	Hatf Ghorrab
Méditerranée	Galite	Galite
Méditerranée	Galite	Galiton
Méditerranée	Galite	Fauchelle
Méditerranée	Galite	Gallina
Méditerranée	Galite	Pollastro
Méditerranée	Galite	Gallo
Méditerranée	Kuriat	Grande Kuriat
Méditerranée	Kuriat	Petite Kuriat

Méditerranée	Milos	Antimilos
Méditerranée	Milos	Glaronisia
Méditerranée	Milos	Mikro Akradi
Méditerranée	Milos	Arkadi
Méditerranée	Milos	Agio Efstharios
Méditerranée	Milos	Agios Georgios
Méditerranée	Milos	Manolonisi Kimolos
Méditerranée	Milos	Paximadi
Macaronésie	Boa Vista	Sal Rei
Macaronésie	Boa Vista	Passaro
Macaronésie	Boa Vista	Baluarte
Macaronésie	Boa Vista	Curral Velho

Annexe 2 : Liste détaillée des variables de l'onglet « description »

Onglet Description		
Variables	Mots-clés	Description / (unité)
superficie		(ha)
distance_continents		(km)
ile_principale		plus grande île de l'archipel
distance_ile_principale		(km)
altitude		(m)
lineaire_cotier		(m)
type_ile	oceanique continentale	
habitants	1 0	présence d'habitants à l'année sur l'île
reseau_routier	1 0	présence d'un réseau routier sur l'île
navette	1 0	présence d'une ligne de transport reliant l'île au continent
embarcadere	1 0	présence d'un embarcadère
agriculture	1 0	

infrastructure	1 0	
anthropisation		indice d'anthropisation allant de 0 à 6 calculé à partir des 6 variables précédentes
artificialisation		estimation à l'œil du degré d'artificialisation de l'île à partir de photos satellites (%)
statut_protection		statut(s) de protection de l'île
gestionnaire		liste du ou des gestionnaires de l'île
di_flore		dernier inventaire floristique
di_herpetofaune		dernier inventaire de l'herpétofaune
di_avifaune		dernier inventaire de l'avifaune
di_invertebres		dernier inventaire des invertébrés
di_mammifères		dernier inventaire des mammifères
bibliographie		liste des références bibliographiques selon le format suivant : Dernier inventaire flore: Pavon 2012, a (en cas de doublon on numérote a, b, c...)

Annexe 3 : Liste détaillée des variables de l'onglet « exotiques »

Onglet espèces exotiques		
Variables	Mots-clés	Description / (unité)
rs_exotique		richesse spécifique en espèces exotiques
rs_invasive		richesse spécifique en espèces envahissantes
groupe_taxo		groupe taxonomique de l'espèce

statut	absent etabli non_eta bli eradique disparu	statut de présence de l'espèce sur l'île, quand il est connu. absent: non identifié au cours des inventaires etabli: (terme pour la faune, = naturalisé pour la flore) taxon introduit qui forme des populations viables (se reproduisant) et durables qui se maintiennent dans le milieu naturel sans besoin d'intervention humaine. (def INPN) non_etabli: Taxon introduit qui peut occasionnellement se reproduire en dehors de son aire de culture ou de captivité, mais qui ne peut se maintenir :à l'état sauvage car ne pouvant former de populations viables sans intervention humaine, et qui dépend donc d'introductions répétées pour se maintenir dans la nature. (def INPN) eradique: taxon éradiqué de l'île par des actions de gestion disparu: taxon anciennement présent qui a disparu sans intervention humaine NOTE: lorsqu'une espèce est absente de l'île, on ne remplit aucune autre cellule
origine	indigene exotique	voir développement
envahissante	oui non	Détermination du caractère envahissant de l'espèce basée sur des listes officielles, nationales ou régionales, ou des dires d'expert.e.s. On privilégie les évaluations réalisées à l'échelle la plus locale possible. Ne signifie pas forcément que l'espèce est envahissante sur l'île , mais qu'elle est considérée comme envahissante sur le continent. En revanche, les espèces non envahissantes sur le continent mais identifiées par des experts locaux comme présentant un caractère envahissant sur l'île sont incluses.
introduction	int non_int	Introduction sur l'île réalisée intentionnellement ou accidentellement par l'homme
1er_inventaire		première mention dans la bibliographie - date de l'observation, pas de l'article (année)
dernier_inventaire		dernière mention dans la bibliographie - date de l'observation, pas de l'article (année)
bibliographie		liste des références bibliographiques selon le format suivant : Dernier inventaire flore: Pavon 2012, a (en cas de doublon on numérote a, b, c...)

Annexe 4 : Liste détaillée des variables de l'onglet « impact ».

Onglet impacts par île		
Variables (par espèce)	Mots-clés	Description / (unité)
presence	0 1	NOTE: lorsqu'une espèce est absente de l'île, on ne remplit aucune autre cellule (sauf presence_passee)
presence_passee	0 1	L'espèce a été présente par le passé mais ne l'est plus.
impact_global	MV MO MR MN MC	Statut de l'espèce à l'échelle globale d'après le classement EICAT de l'IUCN : https://www.iucngisd.org/gisd/about_eicat.php
impact_national		Statut de l'espèce à l'échelle nationale quand la méthode EICAT y a été appliquée
gestion	oui non en cours	La gestion est elle prévue/souhaitée, en cours, ou
pour toutes les variables d'impacts ci-dessous	0 1 2	voir développement
impact_general		
flore		
herpetofaune		
avifaune		
invertebres		
mammofaune		
habitat		impact sur les facteurs abiotiques de l'écosystème : composition et structure du sol, nutriments, ...
humains		Impact de l'espèce sur les activités, infrastructures et populations humaines (agriculture, etc)

interaction _EEE		L'espèce rentre en interaction avec une autre espèces exotique envahissante
bibliographie		liste des références bibliographiques selon le format suivant : Dernier inventaire flore: Pavon 2012, a (en cas de doublon on numérote a, b, c,...)

Annexe 5 : Liste des sources bibliographiques utilisées pour le codage des données

- Abbes, I., Haj, S.B., Muracciole, M., Oro, D., Bernard, F., Ouni, R., *et al.* (2008). Archipel de la Galite Recueil de Notes naturalistes Petites îles de Méditerranée (2006 – 2007).
- Abiad, A. (2012). Faune mammalienne Grand Rouveau et îlots satellites Giens (2012) – PIM Initiative.
- Abiad, A., Ben Aba, W., Bengharbia, T., Ben Aissa, N., Ben Othman, H., Bouayed, J., *et al.* (2022). Rapport de la mission d'août 2022 sur l'archipel de La Galite, Tunisie, 35.
- Abiad, A., Eco-Conservation, S., Azafzaf, H. & Bazairi, H. (2010). Prospections naturalistes sur l'archipel d'Essaouira.
- ANDROMEDE. (2010). Etude et cartographie des biocénoses marines de l'archipel de la Galite, Tunisie.
- ARBE. (2024). Stratégie régionale relative aux espèces animales exotiques envahissantes en Provence-Alpes-Côte d'Azur.
- Azafzaf, H., Kayser, Y., Feltrup-Azafzaf, C., Rebah, S., Hammouda, N., Mallat, H., *et al.* (2020). L'avifaune des îles Kuriat, Tunisie. *Go-South Bull*, 17, 140–155.
- Ben Othmen, H. (2022). Rapport herpétologique Mission 21 - 24 juin 2022.
- Berville, L. (2013). *Inventaire myrmécologique de l'île des Embiez*. Cnrs.
- BIOS.CV. (n.d.). Boa Vista Island and its islets.
- Bouktila, D., Challouf, R., Chatti, K., Ghazzi, K., Wong, L. & Pagad, S. (2020). Global Register of Introduced and Invasive Species - Tunisia. Version 2.7. *Invasive Species Specialist Group ISSG*.
- Braschi, J., Brau, Y., Bru, M., Delaugerre, M.-J., Dutouquet, L., Faggio, G., *et al.* (2023). Biodiversité terrestre des îlots de Gargalu et Garganellu (Réserve naturelle de Scandula).
- Caraglio, P. (2010). Île de la Galite - Gestion des espèces introduites en milieu insulaire.
- Chaumont & Croizé. (2024). *Rapport d'activités Ile du Grand Rouveau 2024*.
- Chaumont, J. (2025a). CAIPIM - Kick-off Partenaires - Boa Vista.
- Chaumont, J. (2025b). Mission Antimilos - Mai 2025.
- Conservatoire du littoral. (1999). Etude du milieu naturel de l'île du Grand Rouveau.
- Corti, C., Cascio, P.L., Delaugerre, M.-J., Rivière, V., Ouni, R., Nouira, S., *et al.* (2022). The Herpetofauna of the Tunisian islands.

- Delaugerre, M., Ouni, R., Biaggini, M. & Corti, C. (2024). Characterising the peculiar insular population of *Testudo graeca* from La Galite Island (Northern Tunisia). *La Revue Méditerranéenne de la Biodiversité « Les Îles Tunisiennes »*.
- EPPO. (2006). *Exotic plant species in Islas Baleares, Spain. EPPO Global Database*. Available at: <https://gd.eppo.int/reporting/article-975>. Last accessed 6 August 2025.
- Espinosa & Nycolino. (2023). *Rapport d'activités Ile du Grand Rouveau 2023*.
- Essougrati, A.E.I., Qninba, A., Aghori, A., Kounni, A.E., Mante, A., Abiad, A., et al. (2011). Schéma d'aménagement et orientations de gestion de l'archipel d'Essaouira (Maroc).
- Febrero, O.G. (n.d.). Informe sobre l'impacte potential damunt la vegetació per la introducció del conill a l'illa de l'Aire.
- Garnier, S. (2022). *Grand Rouveau Rapport Activités 2022*. Initiative PIM.
- Harmelin, Lelong, Rouanet & Ruitton. (2009). *Mission île du Grand Rouveau, Milieu marin*.
- Ibn Tattou, M. (2010). Flore et végétation des Ilots d'Essaouira Note naturaliste.
- Initiative PIM. (2019). *Stratégie de lutte contre le Rat noir sur les espaces insulaires de la région PACA*.
- Jrier, J. (2015). *Contribution à la conservation des îles Kuriat et la baie de Monastir à travers l'implication de la société civile et le secteur privé*. Association notre Grand Bleu.
- Korakaki, E., Legakis, A., Katsanevakis, S., Koulelis, P., Avramidou, E., Soulioti, N., et al. (2021). Invasive Alien Species of Greece. In: *Invasive Alien Species*. pp. 124–189.
- Massemin, A. (2024). *Impact des travaux et mesures de gestion sur les populations de Phyllodactyle d'Europe des îles du Grand Rouveau (Six-Fours-les-Plages, 83) et du Château d'If (Marseille, 13). Intérêt des gîtes artificiels pour les suivis de population*.
- Médail, F. (inédit, b). Flore vasculaire de l'archipel de Mogador (Essaouira, Maroc).
- Médail, F. (inédit, c). *Garganellu flore synthèse 2022*. Available at: [https://initiativepim.sharepoint.com/:x/r/sites/InitiativepourlesPetiteslesdeMditerrane/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7BE1231E1C-B9DD-4F9F-AF2C-1AFE3AAEED99%7D&file=Garganellu%20flore%20synthe%CC%80se%20NEW%202022%20\(FM_PIM\).xlsx&action=default&mobileredirect=true](https://initiativepim.sharepoint.com/:x/r/sites/InitiativepourlesPetiteslesdeMditerrane/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7BE1231E1C-B9DD-4F9F-AF2C-1AFE3AAEED99%7D&file=Garganellu%20flore%20synthe%CC%80se%20NEW%202022%20(FM_PIM).xlsx&action=default&mobileredirect=true). Last accessed 23 April 2025.
- Médail, F. (inédit, a). Synthèse de la flore des Embiez.
- Médail, F., Petit, Y., Paradis, G. & Hugot, L. (2019). *Flore et végétation vasculaires des petites îles et îlots du littoral de Galeria à Porto (Réserve naturelle de Scandula et environs, Corse occidentale)*. Google Docs.
- Médail, F., Petit, Y., Ponel, P., Faggio, G. & Rist, D. (2015). Biodiversité terrestre des îles et îlots du littoral de Galeria à Porto (Corse occidentale).
- Médail, Fouchard & Ponel. (n.d.). Fiche sous-bassin : France Sud. *Atlas of Small Mediterranean Islands*.
- Médail & Pavon. (inédit). *Flore Grand Rouveau synthèse*.

- Moragues Botey, E. (2006). Flora alòctona de les Illes Balears. Ecología de dos especies invasoras: *Carpobrotus edulis* y *Carpobrotus aff. acinaciformis*. *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. Ph.D. Thesis. Universitat de les Illes Balears.
- Paradis, G., Piazza, C. & Mori, C. (2021). Les îles et îlots satellites de la Corse : état des connaissances en 2021 et enjeux de conservation. *Evaxiania*, 69–192.
- Pascal, M. & Abiad, A. (2008). *Inventaire des micromammifères des îles de la Galite. Eradiquer le Rat noir des îlots des chiens : Pourquoi ? Est-ce possible ? Comment ? Qu'en attendre ?* (Other). Conservatoire du Littoral et des Espaces Lacustres.
- Pasta, S., El Mokni, R., Hugot, L. & Médail, F. (2023). Flore vasculaire, végétation et habitats terrestres des îles Kuriat (Tunisie orientale) : Bilan de la biodiversité végétale terrestre, impacts environnementaux et recommandations de gestion | Request PDF. *ResearchGate*.
- Pavon, D. (2012). *Flore et végétation de l'île du Grand Rouveau et des îlots satellites*.
- Pavon, D., Croze, T. & Casanova, N. (2012). Contribution à la connaissance et à la conservation de la flore des îles et îlots de l'archipel des Embiez (Six-Fours-les-Plages, Var). *Bulletin de la Société botanique du centre-ouest*, 43, 137–160.
- Petit, Y. (inédit). Données flore des Embiez.
- Qninba, A., Idrissi, H.R., Benhoussa, A., Mante, A., Azafzaf, H., Peyre, O., et al. (2010). NOTE NATURALISTE SUR L'AVIFAUNE NICHEUSE DE L'ARCHIPEL D'ESSAOUIRA (COTE ATLANTIQUE MAROCAINE).
- Rivière, V., Auda, P., Cheylan, M., Damery, C. & Ugo, J. (2016). Restauration écologique de l'île du Grand Rouveau (Var).
- Silva, M.P. (2013). Áreas Protegidos da Boa Vista.
- Sinama, Petit & Santonja. (2008). *Caractérisation de la richesse floristique de l'île des Embiez et réponses face aux menaces biologiques et anthropiques*.
- Soldati, L. (2009). Coléoptères et autres insectes de l'archipel de la Galite.