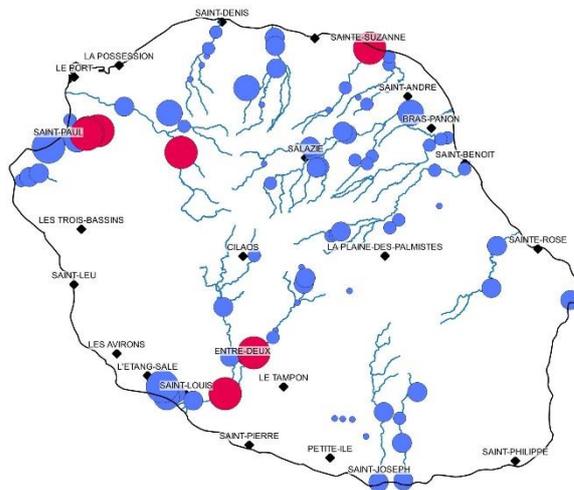


Rapport de stage Master 2 Biodiversité, Ecologie, Evolution parcours « Ingénierie écologique »

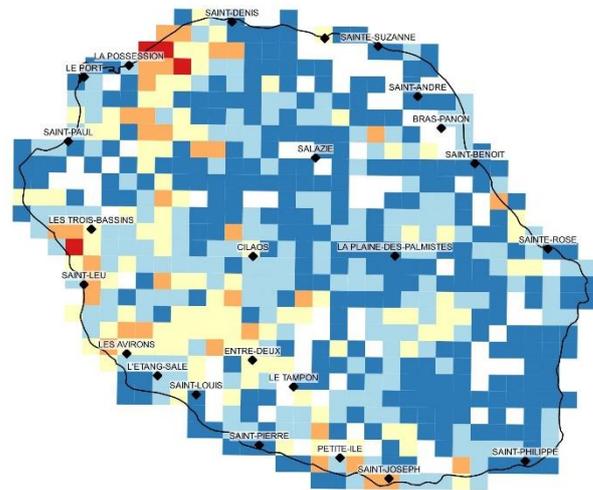


Synthèse cartographique et analyse de l'intensité de pressions anthropiques sur la biodiversité des territoires ultramarins

Clément Redondi



Pollution aquatique



Espèces exotiques envahissantes

Structures d'accueil :

UMR 5245 Laboratoire Ecologie
Fonctionnelle et Environnement –
Université Toulouse III Paul Sabatier
Fondation pour la Recherche sur la
Biodiversité (FRB)

Date de soutenance : 21/09/2020

Encadrants :

M. Régis Céréghino
(Laboratoire Ecologie
Fonctionnelle et Environnement)
Mme. Marilda Dhaskali (FRB)
Mme. Elodie Milleret (FRB)

Année universitaire 2019 - 2020

Remerciements

Je remercie tout d'abord mes encadrants M. Régis Céréghino, Mme Marilda Dhaskali et Mme. Elodie Milleret pour m'avoir permis de réaliser ce stage malgré les conditions sanitaires exceptionnelles ainsi que pour leur implication dans mon encadrement. Je les remercie également pour leur disponibilité et pour l'aide qu'ils m'ont apporté pour la rédaction de ce rapport. Je tiens à adresser un merci tout particulier à M. Régis Céréghino pour avoir organisé mon séjour à Toulouse qui a été déterminant dans l'avancée de ce travail.

J'adresse mes remerciements à l'ensemble des équipes du laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement et de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité pour leur accueil et pour leur aide, et plus particulièrement à M. Arthur Compin (Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement) qui m'a aidé pour le travail de cartographie.

Je remercie l'ensemble des membres du Club 4 de la FRB « Changements globaux et gestion durable de la biodiversité en Outre-mer » pour leur intérêt et leur implication dans ce travail, ainsi que l'ensemble des personnes qui m'ont fourni les données indispensables à ce travail. Je tiens à remercier tout particulièrement M. Yohann Soubeyran (UICN) pour son aide sur la thématique des espèces exotiques envahissantes.

Je remercie les professeurs du master Ecologie, Biodiversité, Evolution en Ile-de-France pour la qualité de leurs enseignements nécessaires au bon déroulement de ce stage. Je remercie particulièrement M. Kamel Soudani et M. Paul Leadley (Université Paris-Saclay) pour leurs enseignements sur les systèmes d'informations géographiques et mes professeurs de statistiques dont les cours m'ont été indispensables pour l'aboutissement de ce travail.

Présentation des structures d'accueil

Le laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement est une unité mixte de recherche (UMR 5245) créée le 1^{er} janvier 2007 et dirigée par M. Franck Gilbert. Ce laboratoire a 3 tutelles : le CNRS-INEE (Institut Ecologie et Environnement du Centre National de la Recherche Scientifique), l'université Toulouse III – Paul Sabatier et l'Institut National Polytechnique de Toulouse. Il comprend 5 équipes de recherche : Ecotoxicologie Intégrative (ECI) ; Ecologie des Communautés : Interactions, Interfaces et Contraintes (CIRCE) ; Dynamique Passée et Actuelle de la Biosphère Terrestre (DYNABIO) ; Biogéochimie Intégrative de la Zone critique (BIZ) ; et Biodiversité, Réseaux Trophiques et Flux dans les Ecosystèmes Aquatiques (BIOREF). Les activités du laboratoire tournent autour de deux axes unificateurs : « généralité des réponses écologiques aux changements globaux » et « santé écologique des écosystèmes et services écosystémiques ». Les approches développées par le laboratoire consistent en des observations, des expérimentations *in situ* et au laboratoire, des méta-analyses, des modélisations... Ces approches s'appliquent aux systèmes faiblement à fortement anthropisés.

La Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB) est une fondation de coopération scientifique de droit privé créée en 2008 à la suite du Grenelle de l'environnement. La FRB compte aujourd'hui 10 membres fondateurs. Sa direction est assurée par Hélène Soubelet et sa présidence par Jean-François Silvain. Elle a pour mission de soutenir et d'agir avec la recherche pour accroître et transférer les connaissances sur la biodiversité. Les activités de la FRB sont notamment divisées en six clubs recherche-action. Le Club 4 « Changements globaux et gestion durable de la biodiversité en Outre-mer » est co-animé par Mme. Elodie Milleret et Mme. Marilda Dhaskali. Les attentes de ce club portent sur les points suivants : actualisation des inventaires de biodiversité et le suivi de la dynamique de celle-ci ; évaluation de l'impact du changement climatique et des autres facteurs de pression directs associés aux changements globaux ; évaluation des causes sous-jacentes et indirectes de perte de biodiversité ; gestion durable des habitats, de la biodiversité et des ressources, notamment forestières ; développement de stratégies et de protection dynamiques de la biodiversité (aires protégées) ; développement de solutions fondées sur la nature, gages d'une résilience accrue des territoires ; et l'intégration durable des enjeux de biodiversité dans les activités économiques comme l'agriculture, la pêche ou le tourisme associées au développement des territoires.

Table des matières

Introduction	2
1) La biodiversité : un patrimoine naturel inestimable mais menacé à l'échelle mondiale	2
2) L'Outre-mer, au cœur de la biodiversité française	3
3) La pollution des milieux aquatiques et les espèces exotiques envahissantes, deux pressions majeures dans les territoires ultramarins	4
4) Un travail intégré dans une démarche d'analyse des pressions sur la biodiversité	5
Méthodologie : de la construction de bases de données à l'analyse des pressions	8
1) Choix des territoires cibles	8
2) Récolte et compilation des données.....	8
3) Sélection des données et variables pour cette étude	10
4) Traitement des données et construction des indices	12
5) Analyses statistiques de l'effet des facteurs naturels et anthropiques sur les pressions	14
6) Cartographie des pressions pollution aquatique et espèces exotiques envahissantes	16
Résultats	18
1) Pollution aquatique	18
2) Espèces exotiques envahissantes	25
Discussion	29
1) Eléments clés des résultats.....	29
2) Interprétation des résultats.....	30
3) Limites de cette étude	33
4) Signification des résultats dans le contexte global	34
Conclusion.....	35
Bibliographie.....	36
Annexes	39
Annexe 1 : Producteurs des données physico-chimiques des cours d'eau.....	39
Annexe 2 : Sources des données sur la localisation des espèces exotiques envahissantes ..	40
Annexe 3 : Echelle de Lavergne.....	46
Annexe 4 : Détail des espèces exotiques envahissantes ciblées dans cette étude	47

Introduction

1) La biodiversité : un patrimoine naturel inestimable mais menacé à l'échelle mondiale

La biodiversité sur notre planète est immense mais encore méconnue. En 2011, le nombre d'espèces terrestres et marines a été estimé à environ 8 750 000 et 2 210 000, respectivement, dont 14% et 9% des taxons seulement seraient connus (Mora et al. 2011). Un écosystème peut être défini comme un complexe dynamique composé de plantes, d'animaux, de microorganismes et de la nature morte environnante qui interagissent entre eux en tant qu'unité fonctionnelle (MEA. 2005). Les processus et interactions qui existent entre ces organismes et leur environnement peuvent être appelés fonctions écologiques, bien que ce terme puisse prendre plusieurs définitions (Jax. 2005). L'humanité tire de multiples profits de ces fonctions. En 2005, les Nations Unies définissaient la notion de « services écosystémiques » dans le « Millennium Ecosystem Assessment » comme « les bénéfices que les hommes tirent des écosystèmes ». Ces services écosystémiques ont été classés en 4 catégories : services de support, d'approvisionnement, de régulation, et culturels. On trouve parmi eux l'approvisionnement en nourriture, en eau potable, la purification de l'eau, la pollinisation, la régulation des nuisibles, etc... (de Sartre et al. 2014) Mais cette biodiversité, indispensable à l'Homme, est aujourd'hui menacée.

L'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques) a déclaré en 2019 qu'environ 25% des espèces animales et des plantes sont menacées d'extinction, soit environ 1 000 000 espèces. On constate aujourd'hui une accélération du taux d'extinction des espèces, qui est au moins 10 à 100 fois supérieur comparé à ce que la planète a connu au cours des 10 derniers millions d'années. L'IPBES a classé les pressions directes sur la nature de la plus impactante à la moins impactante de la façon suivante : changements d'utilisation des terres et des mers ; exploitation directe des organismes ; changement climatique ; pollution ; espèces exotiques envahissantes. Ces 5 pressions directes résultent de facteurs sous-jacents appelés pressions indirectes parmi lesquelles on peut citer l'urbanisation, l'agriculture, la densité de population, l'artificialisation des sols, etc... (IPBES. 2019)

La perte de biodiversité pose des enjeux politiques et économiques. Dans son rapport « Global Future – Assessing the global economic impacts of environmental change to support policy-making », le WWF (World Wildlife Fund) a estimé que le déclin de la nature coûtera

environ 479 milliards de dollars par an au niveau mondial d'ici 2050 (WWF. 2020). Ainsi, le cadre législatif évolue dans une optique de préservation de la biodiversité et d'atténuation des pressions. On peut par exemple citer au niveau européen la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) promulguée en 2000 et retranscrite dans les droits nationaux. La DCE avait pour objectif de parvenir au « bon état » des rivières, lacs et eaux souterraines en Europe en 2015. Elle impose entre autres de réduire la pollution, de restaurer les écosystèmes à l'intérieur et autour des masses d'eau, de garantir une utilisation durable de l'eau mais aussi de surveiller l'état des eaux dans chaque bassin (Directive 2000/60/CE). En France, la préservation de la biodiversité a été réaffirmée en 2016 avec la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages. Elle institue l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité voire de gain avec la séquence « Eviter – Réduire – Compenser » (ERC). Elle impose également le principe de non régression, c'est-à-dire que la protection de l'environnement ne peut faire l'objet que d'une amélioration constante (article L110-1 du code de l'environnement).

2) L'Outre-mer, au cœur de la biodiversité française

L'Outre-mer français se compose de 5 DROMs (Départements et Régions d'Outre-mer) : Guadeloupe, Guyane, Martinique, Mayotte et La Réunion ; de 6 COMs (Collectivités d'Outre-mer) : Nouvelle-Calédonie, Polynésie française, Saint-Barthélemy, Saint-Martin, Saint-Pierre-et-Miquelon et Wallis-et-Futuna ; et un TOM (Territoire d'Outre-mer) : Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF). A l'exception de la Guyane, tous ces territoires sont des milieux insulaires, les ressources écologiques y sont donc beaucoup plus limitantes. Selon l'INPN (Inventaire National du Patrimoine Naturel), les territoires ultramarins abritent environ 80% de la biodiversité française et environ 35 fois plus de plantes endémiques qu'en métropole. Le niveau d'endémisme est donc très haut en Outre-mer avec plus de 98% de la faune vertébrée et 96% des plantes vasculaires spécifiques à la France concentrées sur ses territoires ultramarins (INPN). L'OEIL (Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie) a recensé 76% des plantes terrestres comme étant endémiques à la Nouvelle-Calédonie, ce qui la place au troisième rang mondial. Cependant, ce fort taux d'endémisme rend la biodiversité ultramarine particulièrement fragile. En 2003, l'UICN a recensé 60 fois plus d'extinctions globales d'espèces en Outre-mer qu'en métropole (UICN France. 2003).

La conservation de la biodiversité ultramarine constitue donc un enjeu majeur pour la France. Les législations française et européenne s'appliquent dans les 5 DROMs donc en Guadeloupe, Guyane, Martinique, à Mayotte et à La Réunion. De ce fait, ils sont soumis à la

DCE et au code de l'environnement. On constate des contextes biogéographiques et socio-économiques très différents entre ces territoires, ce qui rend difficilement généralisables les relations pressions – réponses constatées en métropole. Cependant, des adaptations des lois françaises sont possibles dans les DROMs en lien avec le contexte local. Les collectivités d'outre-mer (COMs) sont plus ou moins autonomes pour leur législation. La Nouvelle-Calédonie dispose d'un statut particulier lui procurant une large autonomie. On distingue le cas particulier des TAAF qui ne possèdent pas de population civile permanente et sont donc administrées depuis la commune de Saint-Pierre à La Réunion. On peut ainsi se demander comment les contextes biogéographiques et socio-économiques interagissent pour aboutir aux pressions sur la biodiversité.

3) La pollution des milieux aquatiques et les espèces exotiques envahissantes, deux pressions majeures dans les territoires ultramarins

Pour ce travail, deux pressions ont été sélectionnées en concertation avec les membres du Club 4 de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB) : pollution aquatique et espèces exotiques envahissantes (EEE). Ces deux pressions ont été reconnues par des acteurs publics et privés d'Outre-mer comme étant importantes sur leurs territoires. Cette demande de la part des acteurs a mis en avant un besoin de connaissances sur l'état actuel de ces deux pressions en Outre-mer. Par ailleurs, ces deux pressions sont présentes dans la liste des 5 facteurs directs impactant le plus la biodiversité à l'échelle mondiale (IPBES. 2019).

La pollution aquatique peut être définie comme « le résultat de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération » (Gaujous. 1993). Elle ne se réfère pas à la pureté des eaux mais à une modification de leurs caractéristiques due aux actions humaines (Leynaud et al. 1980). Les conséquences des pollutions sont de natures différentes : toxicité, hypoxie, eutrophisation, modifications écologiques, physiologiques et comportementales. Celles-ci sont d'autant plus préoccupantes dans les milieux insulaires où la ressource en eau est plus limitée que dans les milieux continentaux. Par ailleurs, elles sont une menace pour la biodiversité aquatique exceptionnelle des départements et régions d'Outre-mer. Par exemple, on recense près de 500 espèces de poissons dans les fleuves et criques de la forêt amazonienne de Guyane ; plus de 150 variétés de coraux à Mayotte et à la Réunion ; un millier de taxons de diatomées et algues microscopiques unicellulaires dans les cours d'eau des Antilles, de Mayotte et de La Réunion (Monnier et al. 2019). Il est donc important de protéger cette biodiversité

aquatique, mais les états des lieux réalisés dans le cadre de la DCE témoignent que le « bon état » n'est pas encore atteint pour l'ensemble des masses d'eau considérées.

Une espèce exotique envahissante est définie par l'INPN comme « un taxon appartenant au règne du vivant, introduit par l'Homme en dehors de son aire de répartition ou de dispersion naturelle, qui s'établit, c'est-à-dire qui se reproduit sans intervention humaine, et qui étend son aire de distribution avec en général une augmentation des effectifs des populations ». Ces espèces menacent la biodiversité indigène ou autochtone, c'est-à-dire l'ensemble des espèces qui se reproduisent dans une entité biogéographique depuis le début de l'Holocène. L'impact de cette pression est disproportionné sur les îles par rapport aux continents, principalement en raison du fort taux d'endémisme mais aussi à cause de l'absence de co-évolution. En effet, les espèces étant isolées, elles ont évolué sans développer des mécanismes d'évitement ou de défenses pour faire face à la colonisation par des espèces exotiques. Selon l'IPBES, le taux d'introduction de nouvelles espèces exotiques envahissantes n'aurait jamais été aussi haut et l'impact de cette pression s'accélérerait (IPBES. 2019). En 2016, l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB) a publié que 60 espèces parmi les 100 considérées comme les plus envahissantes au monde étaient présentes dans les territoires d'Outre-mer (ONB. 2019). Selon l'UICN, les EEE sont impliquées dans 53% des extinctions d'espèces recensées en Outre-mer. Ces chiffres montrent l'importance de cette pression dans les territoires ultramarins.

4) Un travail intégré dans une démarche d'analyse des pressions sur la biodiversité

Ce travail peut être assimilé à une analyse des pressions aux sens du modèle DPSIR (Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses). Ce modèle est supporté par l'Agence Européenne de l'Environnement et consiste en un schéma d'analyse fonctionnelle pour structurer les relations de causes à effets en lien avec l'environnement et les problèmes de gestion des ressources naturelles (figure 1). Ce modèle pose les bases nécessaires à une analyse plus détaillée (Ness et al. 2010).

Notre objectif général est la réalisation d'un état des lieux de deux pressions, « pollution aquatique » et « espèces exotiques envahissantes », sur les territoires ultramarins. Des données brutes sur la pollution des cours d'eau et sur la localisation des espèces invasives existent déjà, mais ne sont pas systématiquement centralisées ou directement connectées par des bases de données intra- et inter-DROM-COMs. Des efforts de centralisation des données brutes au niveau national sont actuellement en cours, notamment pour la pollution aquatique. Les données relatives à la physico-chimie des cours d'eau recueillies dans le cadre de la DCE sont

disponibles pour la France entière dans la base de données Naïades. De plus, les Offices de l'eau cartographient la qualité des cours d'eau à l'échelle de la masse d'eau suivant leur état écologique. Concernant la localisation des espèces invasives, des bases de données existent parfois à l'échelle d'un DROM-COM mais ne sont pas toujours accessibles pour le grand public. Un travail de cartographie des pressions sur la biodiversité a déjà été réalisé par l'Observatoire National de la Biodiversité. Il a été indiqué pour l'ensemble des territoires d'Outre-mer si les pressions étaient présentes ou absentes à l'échelle du territoire. Nous cherchons ici à aller plus loin en cartographiant deux de ces pressions à une échelle plus fine et plus précise. Les synthèses et comparaisons entre DROM-COMs sont les plus rares. La création d'un indice quantifiant chacune des deux pressions permettrait par exemple d'identifier les régions et sites où la pression est la plus forte, d'en analyser les causes, et de définir des zones d'action prioritaires. Avant d'envisager des solutions d'atténuation des pressions, il est nécessaire de déterminer quels facteurs environnementaux agissent sur l'intensité de la pression en question. Nous avons donc cherché à établir des relations de causalité significatives entre chaque pression et différents facteurs naturels et anthropiques, et à restituer les résultats sous une forme directement lisible via la cartographie.

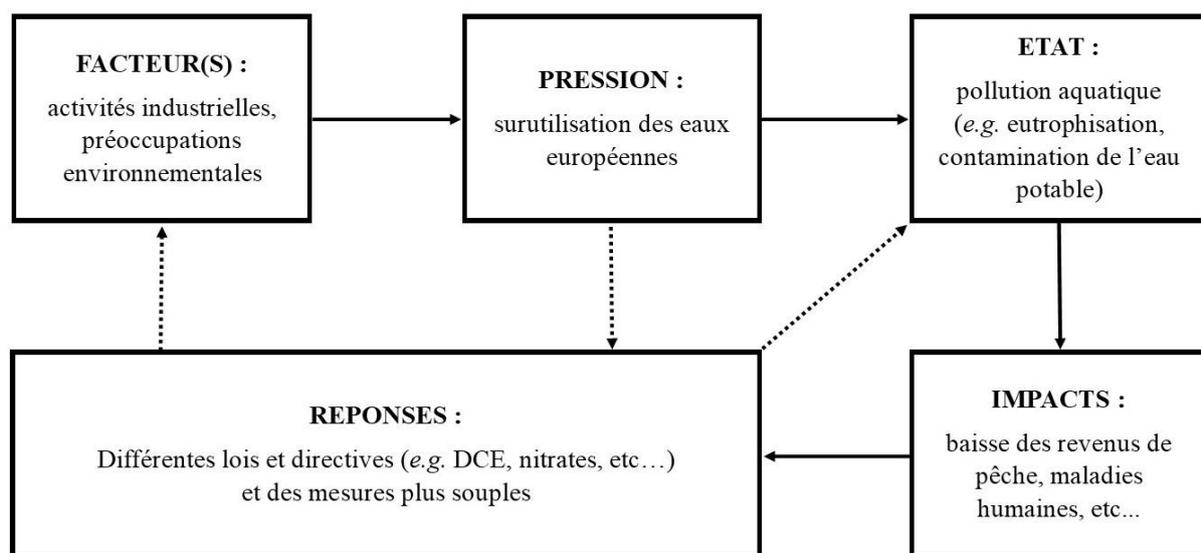


Figure 1 : Exemple d'un schéma d'analyse fonctionnelle DPSIR illustrant le problème de la qualité des eaux et des exemples de réponses au niveau européen (Ness et al. 2010)

On distingue deux grands objectifs pour ce travail :

1. Cartographier les pressions « pollution aquatique » et « espèces exotiques envahissantes » dans six DROM-COMs à l'échelle locale de sites géo-référencés ;
2. Dégager les relations entre le contexte biogéographique d'une part et les activités anthropiques d'autre part par rapport aux deux pressions ciblées.

Dans un contexte multi-régional, nous pouvons nous demander comment les pressions « espèces exotiques envahissantes » et « pollution aquatique » répondent à l'intensité des activités humaines et aux contraintes biogéographiques. Nous avons formulé deux hypothèses. Premièrement, si les activités humaines sont localement importantes, alors l'intensité des deux pressions y augmentera également. Pour la pollution aquatique, la lixiviation des nutriments des zones agricoles serait principalement à l'origine de pollutions des cours d'eau. Pour les zones urbaines, l'imperméabilisation des sols, qui entraîne un ruissellement plus important et/ou un traitement insuffisant des eaux usées, pourrait accroître les concentrations en polluants dans les eaux douces (Khatri et al. 2015). Concernant les espèces exotiques envahissantes, leur introduction peut être intentionnelle à des fins alimentaires, ornementales ou pour jouer un rôle dans la lutte biologique. On peut s'attendre alors à les observer plus fréquemment dans et autour des zones agricoles. En milieu urbain, l'introduction peut être accrue en raison du commerce, du tourisme, des activités portuaires et aériennes... Le milieu urbain serait donc favorable à une recrudescence d'espèces invasives. Deuxièmement, nous nous attendons à ce que le contexte biogéographique de la zone influence plus fortement la pression « espèces exotiques envahissantes » que « pollution aquatique ». En effet, dans un cadre général, certaines conditions climatiques sont favorables à la croissance et à la reproduction d'une espèce. Ainsi, une espèce invasive pourra étendre son aire de répartition plus facilement si le contexte bioclimatique lui est favorable voire être plus compétitrice que les espèces autochtones. Pour la pollution aquatique, ce contexte bioclimatique semble avoir moins d'importance avec des pressions – réponses plus généralisables bien que la température et les précipitations puissent jouer un rôle dans l'autoépuration des cours d'eau.

Méthodologie : de la construction de bases de données à l'analyse des pressions

1) Choix des territoires cibles

Ce travail s'est concentré sur six territoires distribués sur trois bassins océaniques, Atlantique, Pacifique et Indien, représentant des contextes biogéographiques contrastés tout en offrant une quantité de données suffisante pour nos analyses. Les cinq DROMs étant par ailleurs soumis à la Directive Cadre sur l'Eau, ils possédaient a priori des données collectées de façon standardisée sur la chimie des cours d'eau. Pour représenter l'océan Pacifique, la Nouvelle-Calédonie a été choisie car l'OEIL met à disposition une base de données sur la chimie des cours d'eau du sud de la Grande-Terre. Les mêmes territoires ont été ciblés pour l'étude des espèces exotiques envahissantes.

2) Récolte et compilation des données

a) Pollution aquatique

La cartographie de la pollution aquatique des cours d'eau a été réalisée à l'échelle du site (« station d'échantillonnage »), géoréférencé par ses coordonnées géographiques X, Y. Afin de fiabiliser le score de pollution final, seules les données produites lors de la dernière décennie (2010 – 2020) ont été conservées. Les données utilisées proviennent de différentes bases de données de surveillance et d'études scientifiques (tableau 1). Le détail des producteurs de données est renseigné en annexe 1. Le nombre de stations de mesure de la qualité physico-chimique des cours d'eau est variable entre les territoires

Tableau 1 : Nombre de stations par territoire, années de suivi et origine des données

Territoire	Nb stations	Sources	Années
Guadeloupe	89	Base de données NAIADES	2014 - 2017
		Observatoire de l'eau Guadeloupe	2010 – 2014
		Touron-Poncet et al. (2013)	2010 – 2011
Martinique	81	Base de données NAIADES	2010 – 2018
		Bernadet et al. (2013)	2010 - 2011
Guyane	125	Base de données NAIADES	2010 – 2015
		Dedieu et al. (2014)	2011 – 2012
Réunion	90	Base de données NAIADES	2010 – 2018
		Office de l'eau de La Réunion	2010 – 2020
Mayotte	20	Base de données NAIADES	2011 - 2015
Nouvelle-Calédonie	183	Base de données GALAXIA (OEIL)	2010 – 2019
		Marquié et al. (2014)	2012 – 2014

b) Espèces exotiques envahissantes

La cartographie des espèces exotiques envahissantes est réalisée à l'échelle de la maille de 1 ou 2 km² ou du site. Seules les espèces invasives végétales sont prises en compte dans cette étude car les espèces animales sont plus difficiles à cartographier aux échelles considérées du fait de leur mobilité. Les données ont été fournies par différents organismes (tableau 2). La liste des producteurs de données est renseignée en annexe 2.

Tableau 2 : Types et sources de données sur les espèces invasives végétales

Territoire	Organisme ayant fourni les données	Types de données
La Réunion	SINP 974 – Plateforme Borbonica	maillage 2 km ²
Mayotte	DEAL Mayotte (ONF + CBNM)	points – lignes
Guadeloupe	Parc National de Guadeloupe	maillage 2 km ²
Guyane	Léotard et Chaline (2013)	points – lignes – polygones
6 territoires	Pl@ntNet	points

c) Variables environnementales et anthropiques

Les variables environnementales utilisées pour l'analyse de ces deux pressions sont les 19 variables bioclimatiques disponibles sur le site Worldclim à une précision de 30 secondes soit environ 1 km² et moyennées sur la période 1970 – 2000 (tableau 3). L'altitude est également prise en compte et provient des données SRTM de la NASA à une précision d'environ 90m.

Tableau 3 : Signification des 19 variables bioclimatiques

BIO1	Température (T°) moyenne annuelle	BIO11	T° moyenne du trimestre le plus froid
BIO2	Gamme diurne moyenne (moyenne mensuelle (T° max – T° min))	BIO12	Précipitations (P.) annuelles
BIO3	Isothermalité (BIO2 / BIO7) (× 100)	BIO13	P. du mois le plus humide
BIO4	Saisonnalité de la température (écart-type x100)	BIO14	P. du mois le plus sec
BIO5	T° max. du mois le plus chaud	BIO15	Saisonnalité des précipitations (coefficient de variation)
BIO6	T° min. du mois le plus froid	BIO16	P. du trimestre le plus humide
BIO7	Plage de T° annuelle (BIO5-BIO6)	BIO17	P. du trimestre le plus sec
BIO8	T° moyenne du trimestre le plus humide	BIO18	P. du trimestre le plus chaud
BIO9	T° moyenne du trimestre le plus sec	BIO19	P. du trimestre le plus froid
BIO10	T° moyenne du trimestre le plus chaud		

Les variables anthropiques utilisées sont les modes d'occupation des sols et la densité de population. Pour les 5 DROMs, la première variable provient de la base de données Corine Land Cover à son premier niveau de précision, c'est-à-dire cinq catégories : territoires artificialisés ; territoires agricoles ; forêts et milieux semi-naturels ; zones humides et surfaces en eau. Pour la Nouvelle-Calédonie, la carte des modes d'occupation des sols est disponible sur le portail Géorep (<https://georep.nc/>) et est produite par l'OEIL pour la province sud et par le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie pour la province nord. Le même niveau de précision est utilisé et les catégories sont identiques. Les données sur la densité de population sont disponibles auprès de l'INSEE à une précision d'1 km² pour La Réunion et la Martinique et à la précision de la commune pour les quatre autres DROM-COMs.

3) Sélection des données et variables pour cette étude

a) Pollution aquatique

Le score de pollution des cours d'eau est calculé sur 6 paramètres physico-chimiques qui sont ressortis comme étant en général déclassants dans les états des lieux réalisés par les Offices de l'eau en Guadeloupe, Guyane, Martinique et à La Réunion, et par la DEAL (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) à Mayotte. Ces 6 paramètres ont également été sélectionnés car souvent disponibles pour l'ensemble des territoires étudiés (tableau 4). Ces six paramètres sont les suivants :

- **oxygène dissous** : c'est l'un des paramètres les plus importants, il est corrélé à l'activité bactérienne, la photosynthèse, la disponibilité des nutriments, etc... Sa concentration diminue quand la température augmente (Patil et al. 2012). Une concentration trop faible (hypoxie) voire nulle (anoxie) est susceptible de nuire fortement aux êtres vivants ;
- **DBO5** : il s'agit d'une estimation de la quantité de matière organique biodégradable, ce paramètre est souvent révélateur d'une altération anthropique par l'enrichissement du milieu en matières organiques (Marquié et al. 2015) ;
- **pH** : c'est le paramètre le plus important dans la détermination de la corrosivité de l'eau. Plus sa valeur est faible, plus la corrosivité est élevée. Une réduction de l'activité photosynthétique et donc de l'assimilation du dioxyde de carbone entraîne des valeurs plus faibles de pH (Patil et al. 2012). La valeur normale du pH pour l'eau est aux alentours de 7, plus l'écart à cette valeur est grand, plus le déséquilibre physico-chimique est important ;

- **matières en suspension** : elles peuvent rendre compte d'une altération liée à l'érosion d'origine anthropique (Marquié et al. 2015) ;
- **nitrate**s : ils proviennent essentiellement de la lixiviation des engrais azotés et des effluents domestiques (Marquié et al. 2015). Ils sont en partie responsables de l'eutrophisation ;
- **phosphore total** : ils provient essentiellement des effluents domestiques, des eaux usées d'élevage et de la lixiviation des engrais phosphatés. Ils ont une importance déterminante dans le processus d'eutrophisation (Marquié et al. 2015).

Tableau 4 : Proportion de stations mesurant chaque paramètre dans chaque territoire (*les cases rouges correspondent aux valeurs inférieures à 50%*)

	Oxygène dissous	DBO5	pH	MES	Nitrates	Phosphore total
Guadeloupe	80 %	100 %	83 %	100 %	100 %	100 %
Martinique	99 %	99 %	99 %	100 %	99 %	99 %
Guyane	48 %	49 %	50 %	99 %	100 %	99 %
Réunion	60 %	56 %	79 %	56 %	84 %	71 %
Mayotte	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Nouvelle-Calédonie	73 %	12 %	96 %	67 %	60 %	57 %

b) Espèces exotiques envahissantes

La répartition des données concernant les espèces invasives végétales est très inégale entre les six DROM-COMs ciblés. Des listes d'espèces invasives ont été établies dans lesquelles les espèces sont classées par degré d'invasibilité (tableau 5) selon l'échelle de Lavergne (Lavergne. 2016) qui est divisée en 9 niveaux (annexe 2).

Tableau 5 : Nombre d'espèces selon leur degré d'invasibilité (de « espèce insuffisamment documentée » = 0 à « très envahissante » = 5) à la Réunion, Mayotte, en Guadeloupe et en Martinique

	5	4	3+	3	2P	2	1P	1	0
La Réunion	43	83	129	155	51	10	15	0	3
Mayotte	6	12	41	86	13	36	88	210	99
Guadeloupe	2	9		2		2		NA	NA
Martinique	1	3		3		3		NA	NA

A La Réunion, cette liste a été établie par le GEIR (Groupe Espèces Invasives Réunion). A Mayotte, elle a été réalisée par le CBNM (Conservatoire Botanique National Mascarin), la DEAL et la DAAF (Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt) en 2018. En

Guadeloupe et en Martinique, elles ont été établies par leur DEAL respectives en 2011. En Nouvelle-Calédonie, une liste des espèces invasives végétales a été faite par le Groupe espèces envahissantes en 2011 et repose sur trois niveaux d'invasibilité : 30 espèces de niveau 3 soit très envahissantes ; 44 espèces de niveau 2 soit potentiellement envahissantes ; 7 espèces de niveau 1 représentant un risque d'invasion faible (Groupe espèces envahissantes. 2011). En Guyane, un inventaire des espèces invasives végétales et leur cartographie ont été réalisés en 2013 à la demande de la DEAL. Cet inventaire concerne 227 espèces mais leur niveau d'invasibilité n'a pas été déterminé (Léotard et Chaline. 2013).

Seules La Réunion et Mayotte possèdent des données de localisation sur un grand nombre d'espèces classées sur l'échelle de Lavergne. Le travail de cartographie et d'analyse de la pression « espèces exotiques envahissantes » porte donc uniquement sur ces deux territoires. Pour ce travail, seules les espèces de niveaux 5 ; 4 ; 3+ et 3 ont été retenues afin de ne pas prendre en compte les espèces « non envahissantes » et « potentiellement envahissantes » (note < 3). Ces quatre catégories correspondent respectivement aux espèces exotiques très envahissantes ; moyennement envahissantes ; envahissantes dans les milieux anthropisés, mais aussi présentes dans certains milieux naturels sans montrer pour le moment un comportement envahissant ; et envahissantes uniquement dans les milieux anthropisés (annexe 3). Des données ont été obtenues pour 352 espèces à La Réunion et 138 à Mayotte. Le détail des espèces utilisées pour ce travail est disponible en annexe 4.

4) Traitement des données et construction des indices

a) Pollution aquatique

L'indice de pollution aquatique basé sur les six paramètres sélectionnés suit les préconisations de la DCE (Popović et al. 2016), et est calculé pour chaque site comme la moyenne des valeurs des paramètres divisée par la valeur seuil. Les valeurs seuils sélectionnées sont celles du « bon état » définies au niveau national sauf pour la Guyane qui a adapté les seuils pour l'oxygène, a ajouté les matières en suspension et a supprimé le pH (tableau 6). Une augmentation du paramètre « oxygène dissous » correspond à une amélioration de la qualité de l'eau, le sens est donc inversé par rapport aux autres paramètres. Cette valeur a donc été soustraite à 2 pour que tous les paramètres aient le même sens de variation. Le score final correspond à la moyenne des valeurs obtenues pour les six paramètres. La masse d'eau est en bon état si le score est inférieur ou égal à 1, elle est dégradée s'il est supérieur à 1.

Tableau 6 : Valeurs seuils utilisées dans cette étude

	pH	Matières en suspension	Oxygène dissous	DBO5	Nitrates	Phosphore total
National	7,5	50 mg/L	6 mg/L	6 mg/L	50 mg/L	0,2 mg/L
Guyane	7,5	50 mg/L	4,2 mg/L	6 mg/L	50 mg/L	0,2 mg/L

b) Espèces exotiques envahissantes

Pour La Réunion, toutes les données correspondent à un maillage de 2 km², aucune modification de la géométrie n'a donc été nécessaire. Pour Mayotte, les données étaient de type « points » et « lignes », elles ont donc été intégrées dans un maillage de 1 km² pour une représentation plus claire de l'état actuel de l'invasion par des espèces exotiques. L'indice de pression « espèce exotique envahissante » a été créé pour ce travail et est défini comme étant la moyenne des notes d'invasibilité pondérée par l'abondance par maille. Pour les calculs, la note d'invasibilité 3+ a été transformée en 3,5. Le score obtenu pour chaque maille est ensuite normalisé grâce à la fonction « scale » sous R pour permettre une comparaison entre les deux territoires. On obtient alors un z-score, ou nombre d'écart-types séparant une valeur observée de la moyenne des valeurs pour un territoire.

c) Variables environnementales et anthropiques

Les fichiers raster des 19 variables bioclimatiques ont été découpés sur les 6 territoires d'étude donnant 114 nouveaux fichiers. L'extraction des données bioclimatiques a été réalisée à partir de ces fichiers sous R grâce à la fonction « extract » (package « raster »). Les données sont extraites directement aux points pour la pollution aquatique et au centre de chaque maille pour les espèces exotiques envahissantes. Un fichier regroupant les 19 variables pour chaque site est créé par territoire et par pression.

Nombre de ces variables sont corrélées. Afin d'éviter les problèmes de multicollinéarité dans nos modèles, nous avons sélectionné les variables les plus pertinentes en soumettant la matrice de corrélation des variables à un clustering par l'algorithme de Ward. Dans chaque cluster de variables ainsi formé, nous avons retenu la variable dont la somme des R² avec les autres variables était la plus élevée. Quatre variables bioclimatiques ont ainsi été sélectionnées par territoire et par pression par analyses de corrélation (tableau 7). Les données d'altitude sont extraites des fichiers raster sous R suivant la même procédure.

Tableau 7 : Variables bioclimatiques sélectionnées par analyses de corrélation

	Pollution aquatique				Espèces exotiques envahissantes			
Guadeloupe	BIO2	BIO4	BIO11	BIO14				
Guyane	BIO1	BIO2	BIO16	BIO17				
Martinique	BIO1	BIO4	BIO7	BIO12				
Mayotte	BIO7	BIO10	BIO12	BIO17	BIO4	BIO7	BIO11	BIO12
Nouvelle-Calédonie	BIO1	BIO7	BIO16	BIO17				
La Réunion	BIO2	BIO7	BIO11	BIO12	BIO1	BIO7	BIO12	BIO15

Pour calculer le pourcentage de chaque mode d'occupation des sols à chaque site, une zone tampon de rayon égal à 500m a été créée autour de chaque point pour la pollution aquatique. Pour les espèces exotiques envahissantes, l'échelle de la maille a été conservée pour cette analyse. Dans chaque zone tampon, la somme des superficies de chaque catégorie a été divisée par la superficie totale. Cela a permis d'obtenir le pourcentage de chaque mode d'occupation des sols aux alentours ou dans chaque site selon la pression.

Concernant la densité de population humaine, les données carroyées au km² ont été croisées avec les points / mailles pour La Réunion et la Martinique. Le nombre d'habitants au km² a donc été obtenu directement pour la pollution aquatique. Pour les espèces exotiques envahissantes, la moyenne des mailles de densité recouvrant chaque site a été calculée donnant un nombre d'habitants au km². Les îles n'étant pas entièrement couvertes par ces données carroyées, il a été considéré que l'absence de maille correspond à une absence de population. Pour les données communales, le nombre d'habitants a été divisé par la superficie de la commune pour obtenir le nombre d'habitants au km², puis ces données ont été croisées avec les points et les mailles de la même manière que pour les données carroyées.

5) Analyses statistiques de l'effet des facteurs naturels et anthropiques sur les pressions

L'analyse statistique des données a pour but de dégager les variables environnementales et anthropiques influant significativement la pression. L'ensemble des analyses ont été réalisées avec le logiciel R version 4.0.2 et avec les packages « car » ; « MASS » ; « mgcv » et « hier.part ». Des modèles linéaires ont été établis pour chaque DROM-COM (fonction « lm » sous R). La variable réponse (Y) correspond selon les modèles à l'indice de pollution aquatique ou d'invasibilité. La normalité a été vérifiée par inspection visuelle des histogrammes de distribution des données. Si cette condition n'était pas remplie, les données ont été transformées

en logarithme népérien afin de rendre la distribution normale. Si cette étape n'était pas suffisante, un modèle linéaire généralisé (fonction « glm » sous R) suivant une loi de quasipoisson a été utilisé. Le modèle complet théorique est de la forme :

$$lm(Y \sim 4 \text{ variables bioclimatiques} + \text{altitude} + \text{urbanisation} + \text{agriculture} \\ + \text{forêts et milieux semi-naturels} + \text{densité de population})$$

Il faut en principe 10% de variables par rapport à la quantité de données, soit environ 90 sites par territoire dans le cas présent. Ce critère n'étant pas rempli par tous les territoires, une sélection des variables est donc effectuée au préalable par une approche par partition hiérarchique (package « hier.part » sous R). Seules les variables ayant un R² supérieur à 0,10 ont été conservées dans le modèle initial. Les éventuels problèmes de multicollinéarité ont été détectés grâce à la fonction « VIF » (Variance Inflation Factor) du package « car ». On considère que le modèle présente des problèmes de multicollinéarité quand le VIF est supérieur à 5 pour une variable explicative ou quand la moyenne des VIF est supérieure à 2 (De Bourmont. 2012). Lorsque le modèle initial a ce type de problème, la variable ayant le VIF le plus élevé est supprimée et l'opération est répétée jusqu'à ce qu'il ne reste plus que des variables indépendantes. L'homogénéité des variables en termes de grandeur et de variance a été contrôlée par boîtes à moustaches (fonction « boxplot » sous R). Des modèles additifs généralisés (fonction « GAM » du package « mgcv ») ont été réalisés entre la variable à expliquer et chaque variable explicative issue de la sélection pour détecter si la relation entre les deux variables est linéaire ou polynomiale. Si la relation est polynomiale, on ajoute la variable explicative en question élevée au carré dans le modèle initial.

Afin de dégager les variables significatives, nous opérons une sélection descendante à partir du modèle initial, c'est-à-dire que nous supprimons la variable la moins significative à chaque étape jusqu'à ce qu'il ne reste plus que des variables significatives dans le modèle. Dans un premier temps, nous sélectionnons les variables polynomiales, et dans un second temps les autres. Seront ajoutées ensuite les interactions entre les variables restantes puis la même sélection descendante est réitérée pour les interactions. Parfois, l'ajout des interactions fait perdre la significativité des variables seules. Un modèle final est alors obtenu avec uniquement des variables et des interactions significatives. La validité des modèles est vérifiée grâce à la fonction « plot(modèle) ». Ainsi, l'homoscédasticité des résidus est contrôlée graphiquement avec les valeurs prédites en ordonnées et les résidus en abscisses. La normalité des résidus est contrôlée par diagramme quantile-quantile (Q-Q plot) et par histogramme. Le pseudo R² du

modèle révélant la part de la variance expliquée par ce modèle est calculé grâce à la fonction « Anova » (package « car ») de la manière suivante :

$$\frac{\textit{variance expliquée totale}}{\textit{variance expliquée totale} + \textit{variance résiduelle}}$$

Un modèle linéaire généralisé mixte est réalisé sur l'ensemble des DROM-COMs avec le territoire en effet aléatoire. La fonction utilisée « glmmmPQL » du package « MASS » sous R donne un modèle de la forme suivante :

glmmPQL (Y ~ 4 variables bioclimatiques + altitude + urbanisation + agriculture + forêts et milieux semi – naturels + densité de population , random = ~1|territoire, family = gaussian)

Le traitement a ensuite été effectué de la même manière que pour les modèles linéaires par DROM-COM. Le pseudo R² n'a pas pu être calculé pour ces modèles car la fonction « Anova » ne permet pas d'obtenir la variance résiduelle.

6) Cartographie des pressions pollution aquatique et espèces exotiques envahissantes

Le travail de cartographie a été intégralement réalisé sous QGIS version 3.14. Le but de la cartographie est de mettre en évidence les sites dégradés pour les pressions « pollution aquatique » et « espèces exotiques envahissantes ». Les données cartographiques utilisées pour ce travail possèdent des systèmes de coordonnées de référence différents selon les territoires (tableau 8). Dans un souci d'homogénéité des données, toutes les couches vecteur ont été converties en WGS84 (EPSG:4326).

Tableau 8 : Systèmes de coordonnées de référence (SCR) pour chaque territoire

Territoire	SCR	EPSG
Guadeloupe	RRAF1991 / UTM zone 20N	EPSG:2989
Guyane	RGFG95 / UTM zone 22N	EPSG:2972
Martinique	RRAF1991 / UTM zone 20N	EPSG:2989
Mayotte	RGM04 / UTM zone 38S	EPSG:4471
Nouvelle-Calédonie	RGNC91-93 / UTM zone 58S	EPSG:3170
	RGNC1991 / Lambert New Caledonia	EPSG:2984
La Réunion	RGR92 / UTM zone 40S	EPSG:2975

Les deux indices calculés précédemment ont été divisés en cinq classes selon la méthode des ruptures naturelles. Cette méthode permet de minimiser la variance à l'intérieur de chaque classe et de maximiser la variance entre les classes. Pour la pollution des cours d'eau, les

données étant ponctuelles, l'indice de déviation à la référence est représenté par une échelle de cercles concentriques reflétant l'intensité de la pression. Les points bleus correspondent aux sites en bon état, c'est-à-dire ceux dont le score de déviation est inférieur ou égal à 1, et les rouges correspondent aux sites dégradés, ceux dont le score est supérieur à 1. Pour les espèces exotiques envahissantes, les données étant représentées sous la forme d'un maillage, elles sont là encore divisées en cinq classes selon la méthode des ruptures naturelles. Chaque classe est représentée par un dégradé allant du bleu au jaune et au rouge. D'autres couches vectorielles ont été ajoutées : les limites territoriales, les communes, les cours d'eau, les modes d'occupation des sols et la densité de population (tableau 9).

Tableau 9 : Origines et types des données cartographiques utilisées

Couche vectorielle	Type de données	Sources
Limites territoriales	Lignes	GEOFLA (IGN) + Géorep
Communes	Points	GEOFLA (IGN) + Géorep
Cours d'eau	Lignes	Eaufrance + BD TOPO (IGN)
Modes d'occupation des sols	Polygones	Corine Land Cover + Géorep
Densité de population	Polygones	INSEE + GEOFLA (IGN) + Géorep

Concernant les données sur les communes, elles proviennent des données GEOFLA de l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) pour les cinq DROMs. Les points correspondent aux coordonnées des chefs-lieux de chaque commune. Pour la Nouvelle-Calédonie, les points correspondent au centre des communes. Pour les modes d'occupation des sols, les couleurs utilisées sont celles indiquées dans la nomenclature Corine Land Cover avec une opacité réduite de 50% pour rendre la carte plus lisible. Pour la densité de population, le nombre d'habitants au km² est divisé en cinq classes selon la méthode des ruptures naturelles et représenté selon un dégradé allant de l'orange au marron.

Enfin, les cartes sont mises en page avec deux cartes par territoire pour la pollution aquatique. Chaque carte contient l'indice de déviation à la référence, les communes et les cours d'eau. L'une représente en fond de carte les modes d'occupation des sols et l'autre la densité de population et les limites territoriales. Pour les espèces exotiques envahissantes, trois cartes sont produites par territoire. La première représente le maillage de l'indice des moyennes de l'invasibilité pondérées par l'abondance, la seconde les modes d'occupation des sols et la troisième la densité de population. Ces représentations permettent de mettre en évidence les relations existantes entre ces variables et les deux pressions.

Résultats

1) Pollution aquatique

a) Cartographie

Les cartes représentant l'indice de pollution aquatique, la densité de population humaine et les modes d'occupation des sols sont représentées par DROM-COM et présentées ci-dessous.

Tableau 10 : Nombre de sites en bon état et dégradés dans chaque DROM-COM

	Nombre de sites en bon état	Nombre de sites dégradés	Nombre total de sites
Guadeloupe	69	20	89
Guyane	124	1	125
Martinique	77	4	81
Mayotte	20	0	20
Nouvelle-Calédonie	171	12	183
Sud de la Nouvelle-Calédonie	136	12	148
La Réunion	83	7	90

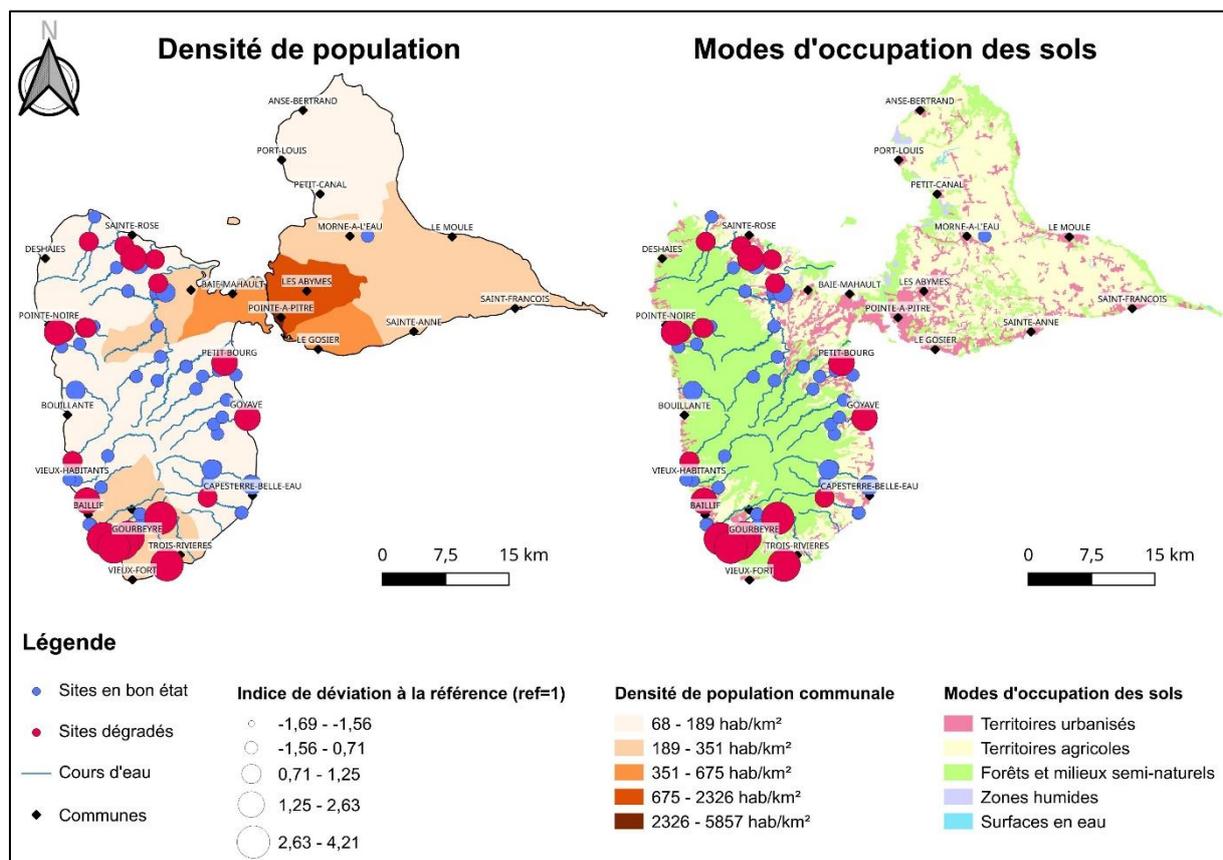


Figure 2 : Carte de la pollution aquatique en Guadeloupe

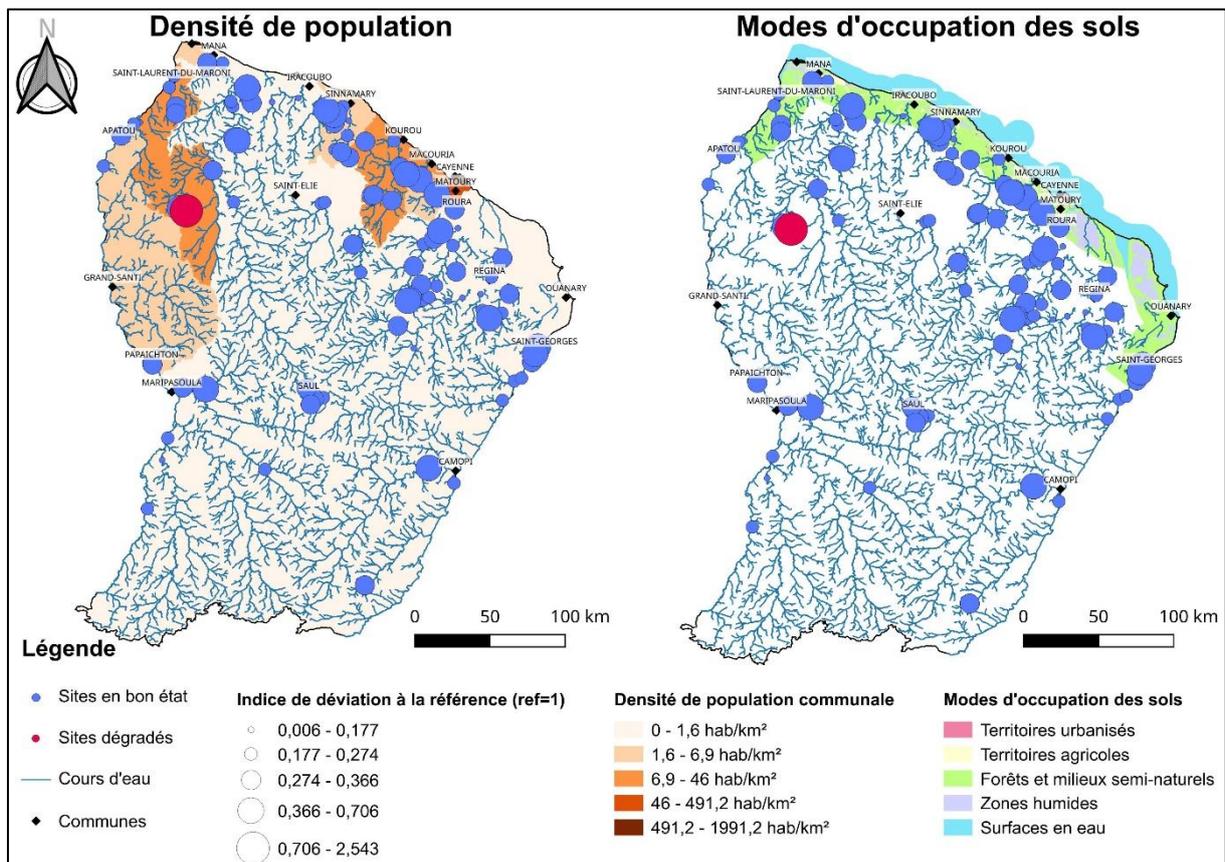


Figure 3 : Carte de la pollution aquatique en Guyane

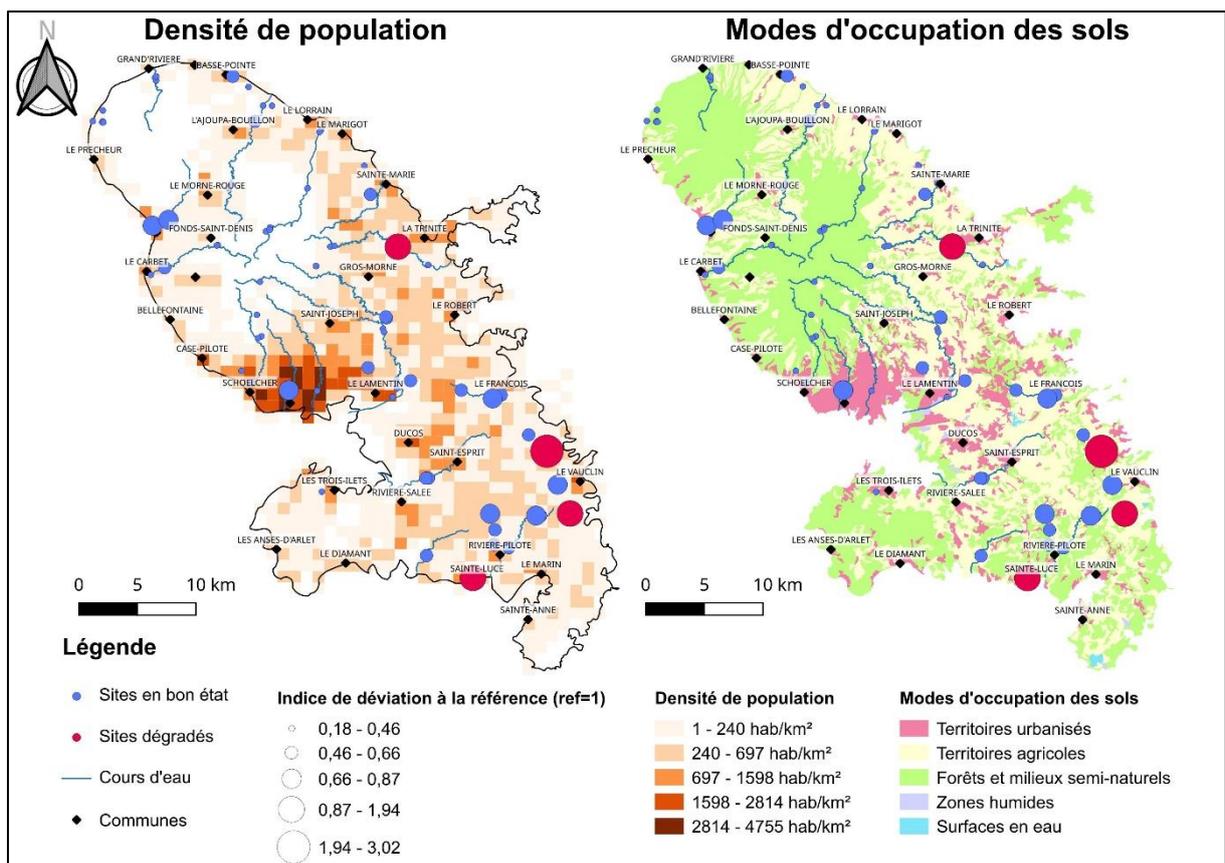


Figure 4 : Carte de la pollution aquatique en Martinique

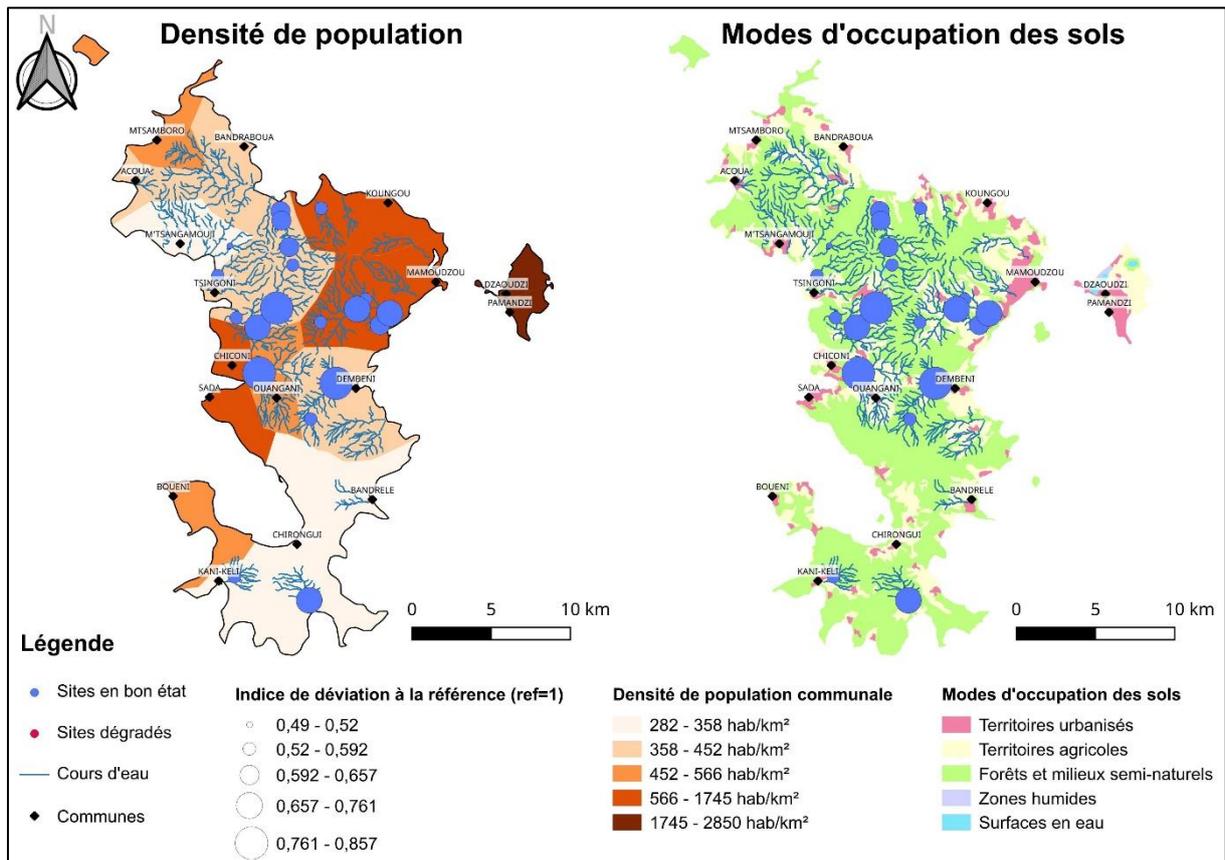


Figure 5 : Carte de la pollution aquatique à Mayotte

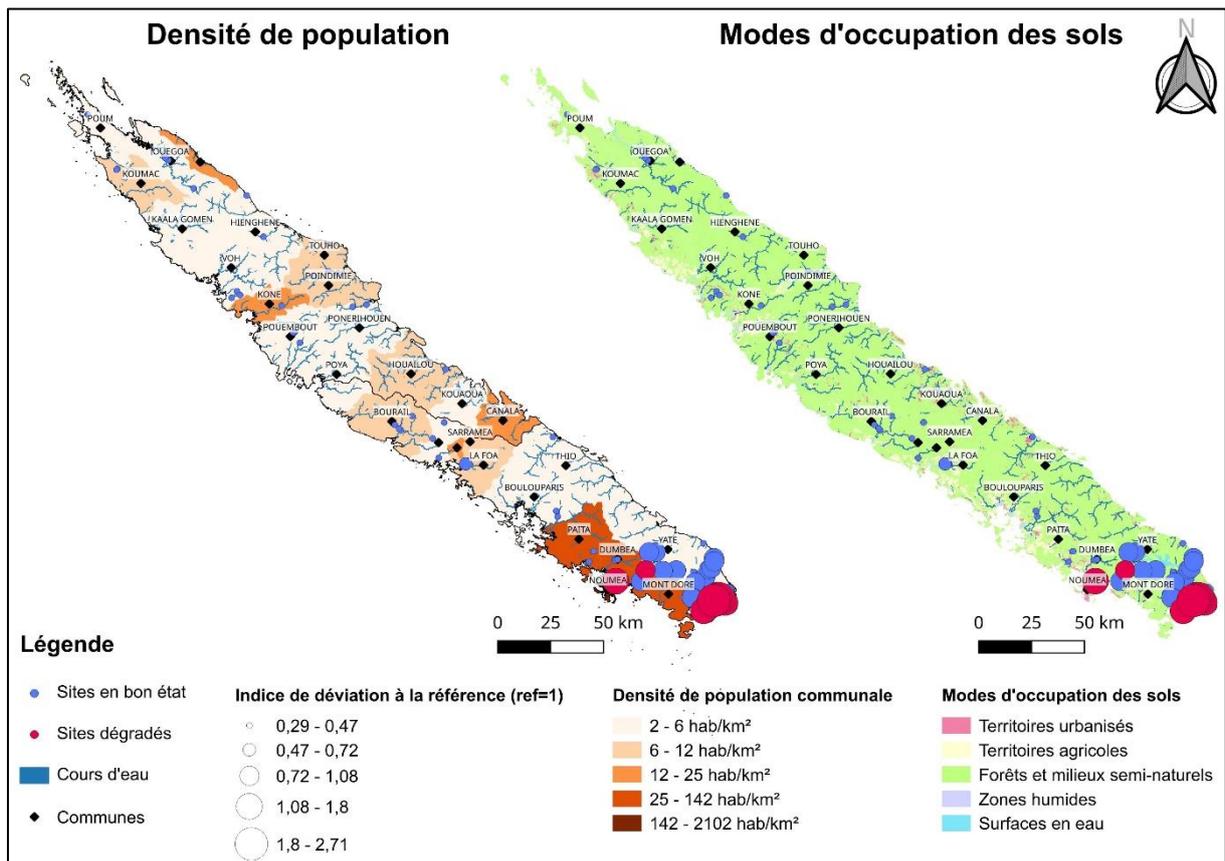


Figure 6 : Carte de la pollution aquatique en Nouvelle-Calédonie

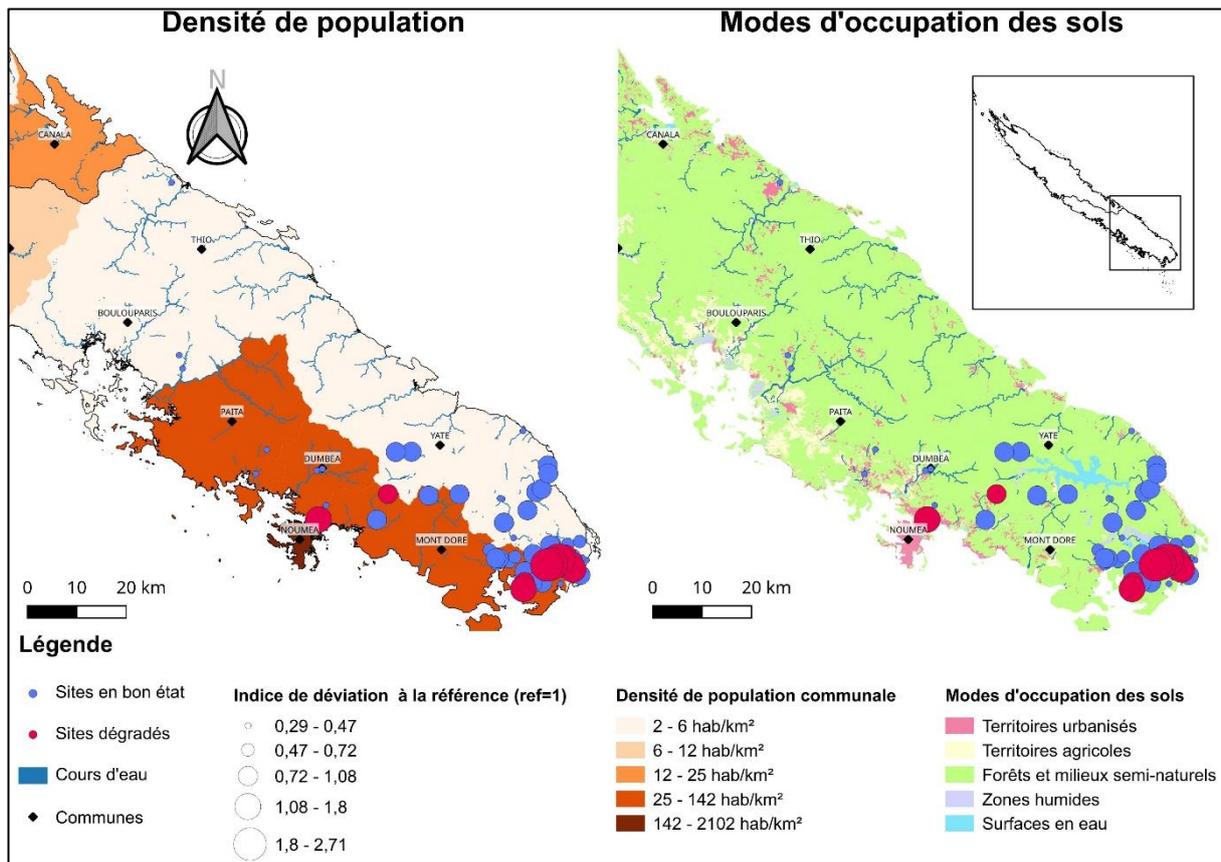


Figure 7 : Carte de la pollution aquatique du sud de la Grande Terre (Nouvelle-Calédonie)

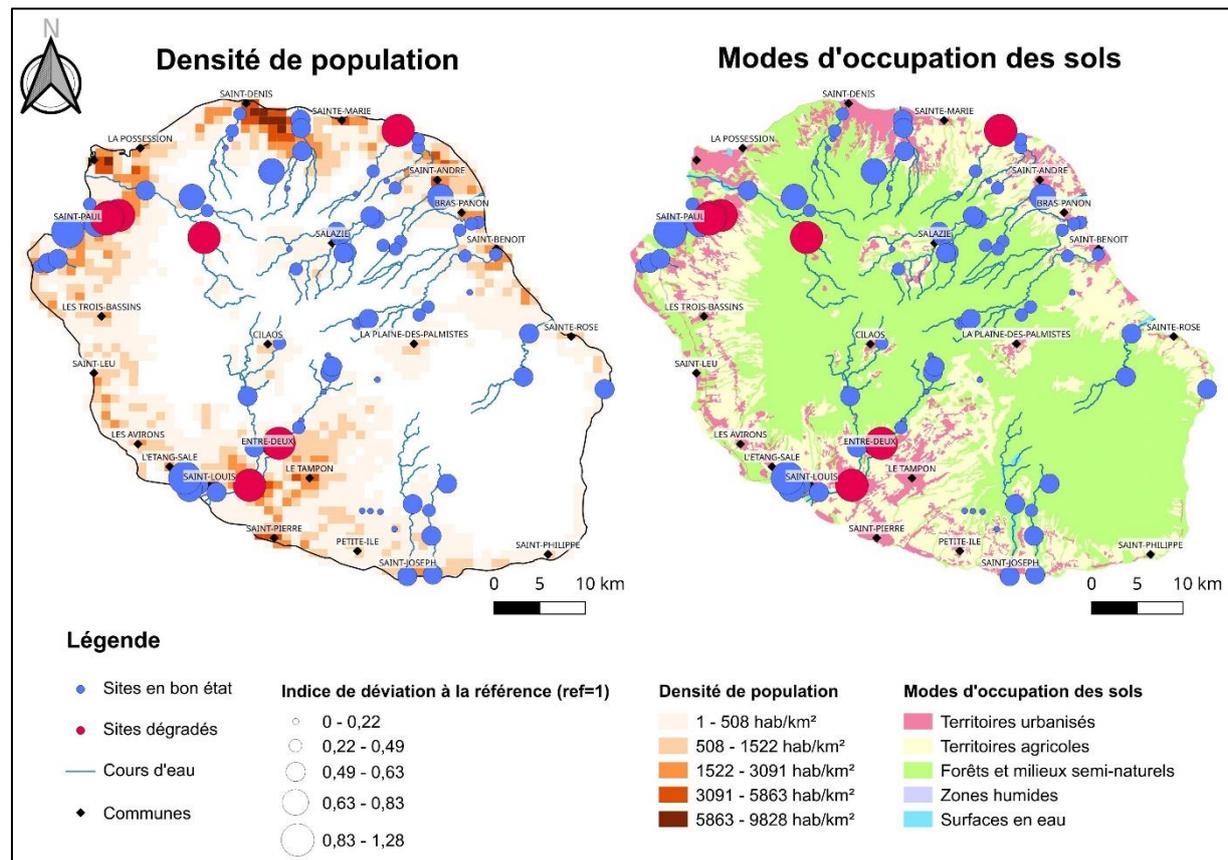


Figure 8 : Carte de la pollution aquatique à La Réunion

En Guadeloupe, 22% des sites sont dégradés (tableau 10). L'indice de pollution y est très variable avec des scores négatifs et d'autres très élevés allant jusqu'à 4,21. Certains cours d'eau sont donc fortement dégradés en Guadeloupe. On observe un gradient de pollution avec les plus faibles intensités au centre du territoire et les plus fortes sur le littoral. Les zones les plus impactées se trouvent aux alentours des communes de Gourbeyre, Sainte-Rose et Pointe-Noire. Les zones urbanisées semblent être les plus impactées par la pollution aquatique (figure 2).

En Guyane, les cours d'eau sont très faiblement dégradés. On observe un seul site dégradé soit moins d'un pourcent (tableau 10), ce qui est très peu comparé à la forte densité du réseau hydrographique. Les plus fortes intensités sont localisées sur la bande littorale donc dans les zones les plus peuplées. Le site dégradé ne se trouve pas sur la bande littorale mais est localisé sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni, une des plus peuplées de Guyane, et présente un score de 2,54. La pollution aquatique est la plus élevée dans les zones à forte densité de population humaine (figure 3), ce qui laisse présager une relation négative entre ce facteur et la pollution aquatique.

En Martinique, seuls 5% des sites sont dégradés (tableau 10) mais l'intensité de pollution y est forte avec un indice allant jusqu'à 3,02. Tous les sites dégradés ainsi que l'ensemble des intensités les plus fortes sont localisés sur le littoral et les intensités les plus faibles au centre de l'île. On observe ainsi un gradient de pollution entre l'amont et l'aval des cours d'eau. Les territoires urbanisés et agricoles semblent influencer négativement sur la qualité des cours d'eau (figure 4).

A Mayotte, aucun site n'est classé comme dégradé (tableau 10). L'indice de pollution varie peu ce qui reflète des cours d'eau dans un état similaire. Les plus fortes intensités semblent être localisées sur les territoires agricoles, d'où une possible relation négative entre ces deux variables (figure 5).

En Nouvelle-Calédonie, les cours d'eau sont globalement en bon état à l'échelle de la Grande-Terre entière (figure 6) mais 8% des sites sont dégradés dans la partie sud de l'île (tableau 10). Dans cette zone sud, les cours d'eau sont moyennement dégradés avec un indice de pollution allant jusqu'à 2,71. Ces sites sont localisés sur les communes de Dumbéa, Mont-Dore et Nouméa. Là aussi, il semble exister une relation négative entre densité de population humaine et pollution aquatique (figure 7).

A La Réunion, 8% des sites sont classés comme dégradés (tableau 10). L'indice de pollution révèle que les cours d'eau sont faiblement dégradés puisqu'il est compris entre 0 et 1,28. On observe un gradient amont – aval de pollution avec les intensités les plus faibles au centre de l'île et les plus fortes sur le littoral. Il semble exister une relation négative entre pollution aquatique et territoires urbanisés (figure 8).

b) Influence des facteurs environnementaux

Les résultats des modèles linéaires pour la pollution aquatique sont synthétisés dans le tableau 11. Celui-ci indique le coefficient de régression (Estimate et son erreur standard SE), le nombre de degrés de libertés (df), la p-value ainsi que le pseudo R² donnant la part de variance expliquée par le modèle (tableau 11).

Nous avons retenu pour l'interprétation les variables à la fois significatives (p-value < 0,05) et les plus impactantes, c'est-à-dire celles dont le coefficient de régression est supérieur ou égal à 10⁻³ en valeur absolue (variables en gras dans le tableau 11). Ce seuil a été choisi en raison des faibles valeurs de ces coefficients pour les analyses portant sur les espèces exotiques envahissantes.

Tableau 11 : Résultats issus des modèles de régressions linéaires pour la pollution aquatique. Les interactions entre les variables explicatives sont indiquées par le symbole « : »

	Estimate ± SE	df	p-value	R ²
Guadeloupe				
Intercept	3.399 ± 1.574	82	3.370 x 10 ⁻²	0.30
BIO4 = Saisonnalité de la température	-2.085 x 10 ⁻² ± 1.333 x 10 ⁻²		1.214 x 10 ⁻¹	
Territoires urbanisés	1.491 x 10 ⁻¹ ± 5.801 x 10 ⁻²		1.800 x 10 ⁻²	
BIO4 : territoires urbanisés	-1.215 x 10 ⁻³ ± 4.897 x 10 ⁻⁴		2.210 x 10 ⁻²	
Guyane				
Intercept	-1.503 ± 8.487 x 10 ⁻²	121	2.060 x 10 ⁻²	0.10
Altitude	8.876 x 10 ⁻⁴ ± 9.792 x 10 ⁻⁴		2.330 x 10 ⁻²	
Densité de population	-6.246 x 10 ⁻³ ± 1.347 x 10 ⁻²		2.140 x 10 ⁻²	
Altitude : densité de population	5.735 x 10 ⁻⁴ ± 2.743 x 10 ⁻⁴		5.910 x 10 ⁻²	
Martinique				
Intercept	1.182 x 10 ¹ ± 4.020	78	4.330 x 10 ⁻³	0.18
BIO7 = Plage de température annuelle	-1.319 ± 4.320 x 10 ⁻¹		3.100 x 10 ⁻³	
Forêts et milieux semi-naturels	-1.820 x 10 ⁻¹ ± 1.030 x 10 ⁻¹		8.043 x 10 ⁻²	
BIO7 : forêts	1.894 x 10 ⁻² ± 1.096 x 10 ⁻²		8.784 x 10 ⁻²	

Mayotte				
Intercept	$-1.673 \times 10^1 \pm 6.514$	16	2.060×10^{-2}	0.52
BIO10 = Température moyenne du trimestre le plus chaud	$6.046 \times 10^{-1} \pm 2.410 \times 10^{-1}$		2.330×10^{-2}	
Altitude	$3.533 \times 10^{-3} \pm 1.386 \times 10^{-3}$		2.140×10^{-2}	
Forêts et milieux semi-naturels	$-1.865 \times 10^{-3} \pm 9.182 \times 10^{-4}$		5.910×10^{-2}	
Nouvelle-Calédonie				
Intercept	-3.711 ± 0.979	180	2.050×10^{-4}	0.11
BIO7 = Plage de température annuelle	$1.785 \times 10^{-1} \pm 7.066 \times 10^{-2}$		1.240×10^{-2}	
BIO17 = Précipitations du trimestre le plus sec	$2.191 \times 10^{-3} \pm 5.360 \times 10^{-4}$		6.570×10^{-5}	
Sud de la Nouvelle-Calédonie				
Intercept	-4.411 ± 2.075	145	3.520×10^{-2}	0.06
BIO7 = Plage de température annuelle	$2.880 \times 10^{-1} \pm 1.460 \times 10^{-1}$		5.130×10^{-2}	
Densité de population	$-4.245 \times 10^{-3} \pm 1.828 \times 10^{-3}$		2.160×10^{-2}	
La Réunion				
Intercept	-3.623 ± 1.436	82	1.360×10^{-2}	0.24
BIO7 = Plage de température annuelle	$2.666 \times 10^{-1} \pm 1.207 \times 10^{-1}$		3.000×10^{-2}	
Altitude	$-6.552 \times 10^{-4} \pm 1.463 \times 10^{-4}$		2.410×10^{-5}	
6 territoires (GLMM)				
Intercept	$7.123 \times 10^{-1} \pm 1,331 \times 10^{-1}$	578	0.000	NA
Forêts et milieux semi-naturels	$-1.349 \times 10^{-3} \pm 7,659 \times 10^{-4}$		7.880×10^{-2}	
Territoires urbanisés	$1.610 \times 10^{-2} \pm 5.963 \times 10^{-3}$		7.100×10^{-3}	
BIO12 = Précipitations annuelles	$-6.350 \times 10^{-5} \pm 6.058 \times 10^{-5}$		$2,953 \times 10^{-1}$	
BIO12 : territoires urbanisés	$-7.300 \times 10^{-6} \pm 3.340 \times 10^{-6}$		$2,880 \times 20^{-2}$	

En Guadeloupe, les zones urbanisées sont associées à des valeurs plus fortes de l'indice de pollution comme suggéré par la lecture de la carte des modes d'occupation des sols (figure 2). La variable bioclimatique BIO4 (saisonnalité de la température) induit une diminution des valeurs. Cet effet saisonnier est surtout présent au niveau des territoires urbanisés.

En Guyane, une augmentation de la densité de population humaine entraîne des valeurs plus faibles de l'indice de pollution. Dans une moindre mesure, l'altitude et l'interaction de ces deux variables sont associées à une augmentation de cet indice.

En Martinique, la variable bioclimatique BIO7 (plage de température annuelle) et les forêts et milieux semi-naturels sont associées à des valeurs plus faibles de l'indice de pollution. Dans les forêts et milieux semi-naturels, des valeurs plus fortes sont induites par les fluctuations de température annuelles.

A Mayotte, l'indice de pollution a des valeurs plus faibles dans les forêts et milieux semi-naturels. Les sites avec les plus faibles déviations à la référence semblent en effet être localisés dans ces zones (figure 5). La variable bioclimatique BIO10 (température moyenne du trimestre le plus chaud) et l'altitude sont associées à des valeurs plus fortes.

Sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie, aucune variable anthropique influe significativement sur la qualité des cours d'eau. On distingue deux variables bioclimatiques qui induisent une augmentation des valeurs de l'indice de pollution : BIO7 (plage de température annuelle) et BIO17 (précipitations du trimestre le plus sec). Pour l'analyse portant sur la partie sud de la Nouvelle-Calédonie, une augmentation de la densité de population humaine induit des valeurs plus faibles de cet indice.

A La Réunion, la variable bioclimatique BIO7 (plage de température annuelle) est associée à des valeurs plus fortes de l'indice de pollution. Dans une moindre mesure, les valeurs diminuent avec l'altitude ce qui est cohérent avec le gradient amont-aval observé sur la carte (figure 8).

Pour l'analyse des six territoires réunis, les forêts et milieux semi-naturels sont associés à des valeurs plus faibles de l'indice de pollution tandis que les territoires urbanisés entraînent des valeurs plus fortes.

2) Espèces exotiques envahissantes

a) Cartographie

Pour La Réunion et Mayotte, trois cartes ont été réalisées représentant l'indice des moyennes des notes d'invasibilité pondérées par l'abondance (indice d'invasibilité), les modes d'occupation des sols et la densité de population humaine (figure 8 et 9).

Tableau 12 : Pourcentage de sites dans chaque classe de l'indice d'invasibilité à La Réunion et à Mayotte (*les valeurs de chaque classe sont différentes*)

	La Réunion	Mayotte
Classe 1	46 %	41 %
Classe 2	30 %	23 %
Classe 3	17 %	22 %
Classe 4	6 %	11 %
Classe 5	1 %	3 %

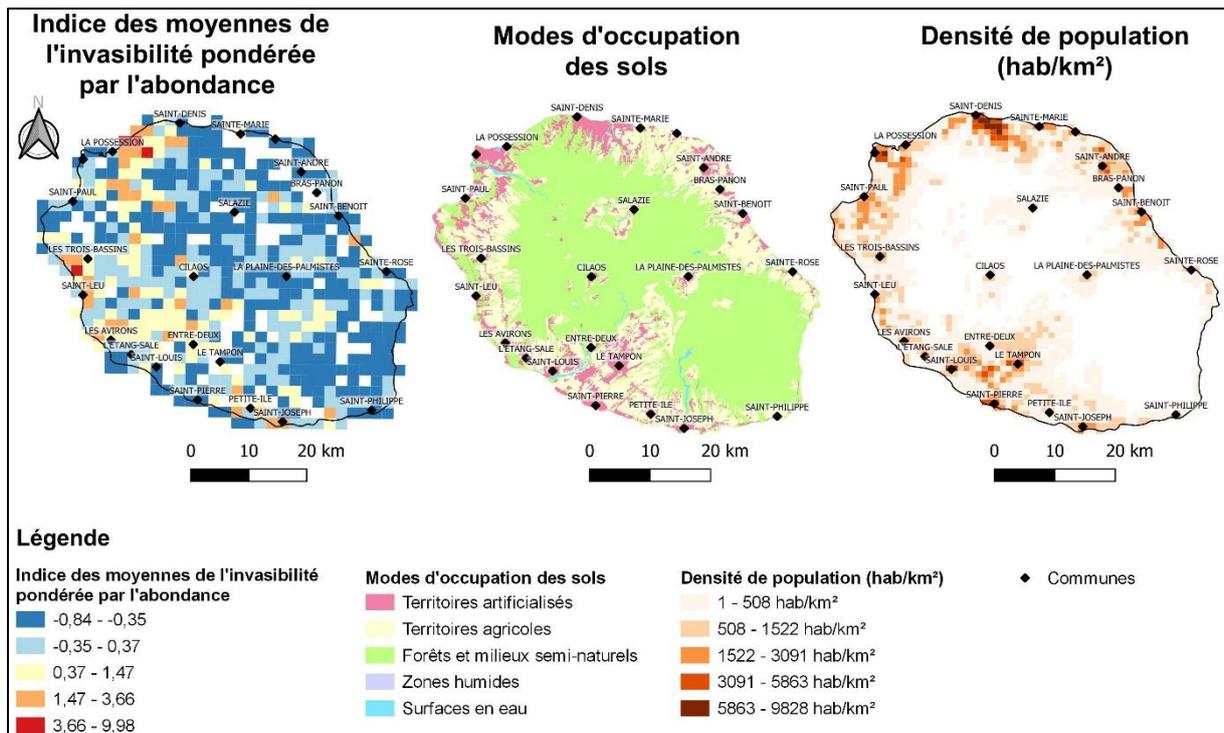


Figure 9 : Carte de l'indice d'invasibilité, des modes d'occupation des sols et de la densité de population humaine à La Réunion

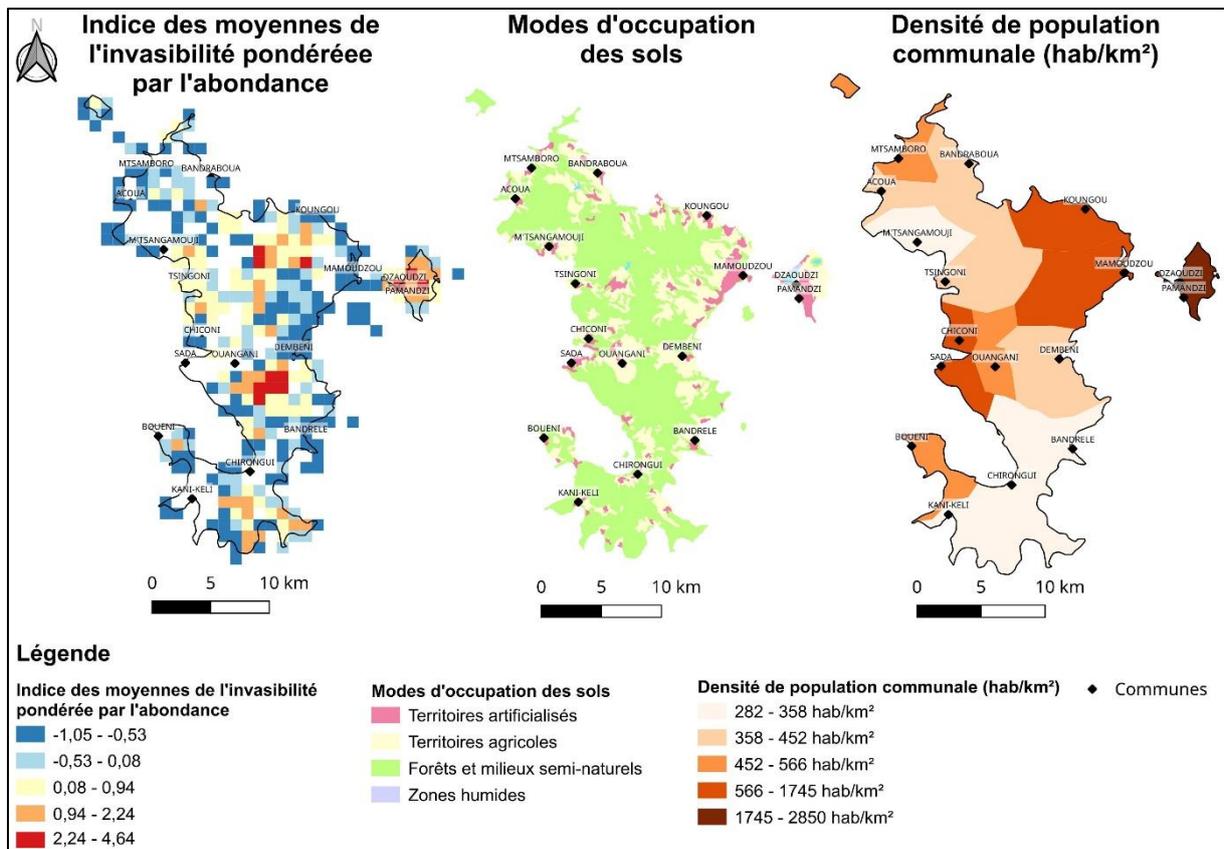


Figure 10 : Carte de l'indice d'invasibilité, des modes d'occupation des sols et de la densité de population humaine à Mayotte

Ces cartes représentent, pour toutes espèces confondues, le produit de l'abondance par la note d'invasibilité. Cela rend compte de l'état actuel d'invasion par des espèces exotiques sur les îles de La Réunion et de Mayotte sur un maillage respectif de 2 km² et 1 km². L'indice d'invasibilité est divisé en 5 classes (tableau 12). La classe 1 (zones bleu foncé) correspond aux sites dans lesquels les espèces sont peu invasives et peu abondantes. Au contraire, la classe 5 (zones rouges) correspondent à ceux dans lesquels les espèces sont fortement invasives et abondantes. En regardant les valeurs des classes, on voit que l'indice d'invasibilité est globalement plus fort à La Réunion qu'à Mayotte (figure 9 et 10).

A La Réunion, on observe une forte répartition des classes 1 et 2 (zones en bleues) sur la partie est de l'île, où la pression « espèces exotiques envahissantes » est donc moins forte. La pression est plus forte sur la partie ouest de l'île et plus particulièrement sur le littoral. Les sites les plus impactés sont concentrés au nord-ouest de l'île. L'intensité est particulièrement forte aux alentours des communes de La Possession et de Saint-Leu. On constate également quelques clusters dans le sud de l'île aux alentours des communes Les Avirons et Saint-Joseph. Il semble exister une corrélation entre les fortes intensités d'invasibilité et les surfaces forestières situées aux alentours des zones densément peuplées (figure 9).

A Mayotte, on observe une forte intensité de la pression sur l'île de Petite-Terre (localisée à l'est et abritant les communes de Pamandzi et Dzaoudzi) qui semble être corrélée à la densité de population humaine. En Grande-Terre, les sites les plus impactés sont situés sur une ligne allant du nord au centre et au sud de l'île avec une forte concentration d'espèces très invasives et abondantes au centre de celle-ci. La pression « espèces exotiques envahissantes » est assez forte sur l'ensemble de l'île. La forte concentration observée au centre semble être liée à de grandes surfaces agricoles. Au nord et au sud de la Grande-Terre, les aires forestières semblent favoriser les espèces invasives végétales (figure 10).

b) Influence des variables environnementales

Nous avons considéré que les variables les plus impactantes sont celles dont le coefficient de régression est supérieur ou égal à 10⁻³ en valeur absolue. Il s'agit des variables présentées en gras dans le tableau 13.

Tableau 13 : Résultats issus des modèles de régressions linéaires pour les espèces exotiques envahissantes

	Estimate \pm SE	Df	p-value	R ²
La Réunion				
Intercept	$2.050 \pm 4.183 \times 10^{-1}$	596	1.230×10^{-6}	0.09
BIO12 = Précipitations annuelles	$-1.535 \times 10^{-3} \pm 3.081 \times 10^{-4}$		8.230×10^{-7}	
Forêts et milieux semi-naturels	$8.145 \times 10^{-3} \pm 1.484 \times 10^{-3}$		6.050×10^{-8}	
Altitude	$-2.028 \times 10^{-4} \pm 8.569 \times 10^{-5}$		1.830×10^{-2}	
Mayotte				
Intercept	$2.338 \pm 7.532 \times 10^{-1}$	NA	2.070×10^{-3}	0.21
BIO12 = Précipitations annuelles	$-1.691 \times 10^{-3} \pm 5.745 \times 10^{-4}$		3.470×10^{-3}	
Territoires agricoles	$2.760 \times 10^{-3} \pm 1.056 \times 10^{-3}$		9.320×10^{-3}	
Forêts et milieux semi-naturels	$5.824 \times 10^{-3} \pm 1.023 \times 10^{-3}$		2.730×10^{-8}	
Altitude	$1.435 \times 10^{-3} \pm 3.535 \times 10^{-4}$		6.100×10^{-5}	
Densité de population	$1.716 \times 10^{-4} \pm 3.497 \times 10^{-5}$		1.440×10^{-6}	
La Réunion et Mayotte (GLMM)				
Intercept	1.475 ± 0.207	939	0.000	NA
BIO12 = Précipitations annuelles	$-8.000 \times 10^{-4} \pm 1.484 \times 10^{-4}$		0.000	
Territoires urbanisés	$2.537 \times 10^{-3} \pm 1.245 \times 10^{-3}$		4.180×10^{-2}	
Territoires agricoles	$2.963 \times 10^{-3} \pm 7.576 \times 10^{-4}$		1.000×10^{-4}	
Forêts et milieux semi-naturels	$6.388 \times 10^{-3} \pm 7.120 \times 10^{-4}$		0.000	
Altitude	$-1.014 \times 10^{-4} \pm 3.938 \times 10^{-5}$		1.020×10^{-2}	

A La Réunion, les forêts et milieux semi-naturels et la variable bioclimatique BIO12 (précipitations annuelles) sont associés à des valeurs plus fortes de l'indice d'invasibilité, ce qui est cohérent avec les surfaces forestières impactées observées aux alentours des zones densément peuplées (figure 9). Dans une moindre mesure, l'indice d'invasibilité diminue avec l'altitude.

A Mayotte, l'indice d'invasibilité est plus fort dans les forêts et milieux semi-naturels et dans les territoires agricoles. Ces constats sont cohérents avec la lecture de la carte des modes d'occupation des sols (figure 10). L'indice augmente avec l'altitude, le littoral semble en effet être moins impacté que le centre de la Grande-terre. Les précipitations annuelles sont associées à des valeurs plus faibles de l'indice d'invasibilité. Dans une moindre mesure, la densité de population humaine induit des valeurs plus fortes de l'indice comme observé en Petite-Terre.

Pour l'analyse statistique des deux DROMs réunis, il ressort que les territoires artificialisés, agricoles et les forêts et milieux semi-naturels sont associés à une augmentation des valeurs de l'indice d'invasibilité. A un niveau plus faible, une augmentation des

précipitations annuelles (BIO12) induit une diminution des valeurs de l'indice, comme observé dans les analyses par territoire. Une augmentation de l'altitude aurait le même effet mais ce constat n'est observé qu'à La Réunion.

Les précipitations annuelles et l'altitude étant les deux paramètres biogéographiques influant significativement sur la pression « espèces exotiques envahissantes », leurs valeurs sont cartographiées en figure 11 :

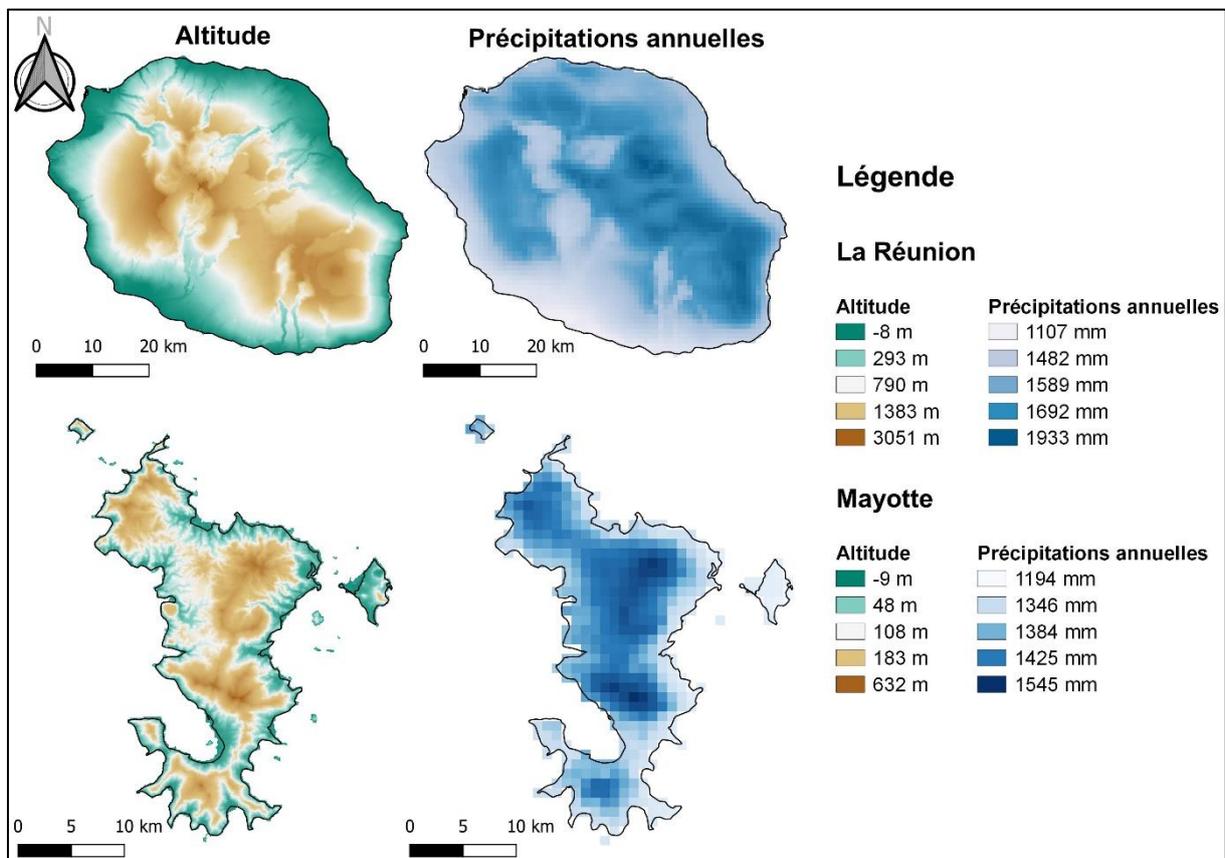


Figure 11 : Cartographie de l'altitude et des précipitations annuelles à La Réunion (haut) et à Mayotte (bas)

Discussion

1) Éléments clés des résultats

La pollution aquatique est principalement influencée par les modes d'occupation des sols et les variables bioclimatiques. Les forêts et milieux semi-naturels, dans lesquels les activités humaines sont moindres, abritent des cours d'eau de meilleure qualité que les zones urbaines. Les variations de température induisent des effets contexte dépendants (selon le DROM-COM considéré), et les précipitations auraient un effet bénéfique bien que marginal.

La pression « espèces exotiques envahissantes » est principalement influencée par les modes d'occupation des sols et les variables de précipitations. Les territoires urbanisés et agricoles favorisent la dispersion des espèces invasives végétales. L'effet est encore plus marqué dans les forêts et milieux semi-naturels qui seraient donc les plus favorables à la dispersion des espèces. Une augmentation des précipitations est corrélée négativement à l'intensité de la pression.

2) Interprétation des résultats

a) Pollution aquatique

Au moins une variable décrivant des fluctuations de température présente un effet significatif sur la pollution dans chaque territoire, à l'exception de la Guyane. La direction et l'intensité des effets sont cependant dépendantes du contexte biogéographique. Ces variations favorisent la bonne qualité des eaux dans l'hémisphère nord (Guadeloupe et Martinique) tandis qu'elles ont un effet détériorant dans l'hémisphère sud (Nouvelle-Calédonie, Mayotte et La Réunion). Les amplitudes de température sont plus fortes sur les trois territoires de l'hémisphère sud, plus particulièrement en Nouvelle-Calédonie. A des températures non extrêmes, ce paramètre influe peu sur l'autoépuration de l'eau. En revanche, des variations de température plus fortes entraînent des fluctuations plus importantes de la quantité d'oxygène dissous qui peut devenir rapidement un facteur limitant dans le processus d'auto-épuration (Namour. 1999). A Mayotte, les périodes chaudes sont associées à des pollutions plus importantes, probablement en raison d'une utilisation accrue de la ressource en eau et en conséquence une production supérieure d'eaux usées.

Les précipitations ont un effet bénéfique marginal sur la qualité des eaux dans l'ensemble des territoires d'après le modèle linéaire généralisé mixte (GLMM). En Nouvelle-Calédonie, cet effet est significatif et montre que la pollution augmente en période de faibles précipitations. Elles joueraient ainsi un rôle d'épuration des eaux probablement par effet de dilution ou concentration.

La qualité des eaux fluctue en fonction de l'altitude. A La Réunion, les cours d'eau sont en meilleur état dans les sites d'altitude élevée, ce qui peut induire une accumulation de la pollution de l'amont à l'aval, et/ou une diminution des activités humaines avec les zones d'altitude. En Guyane et à Mayotte, la pollution des cours d'eau augmenterait avec l'altitude. Sur ces deux DROMs, le relief est peu marqué avec des points culminants à 860 mètres en

Guyane et 660 mètres à Mayotte. En Guyane, les sites dégradés à une altitude plus élevée semblent correspondre aux sites d'orpillage (Dedieu et al. 2014) marqués par une quantité de matières en suspension plus élevée. A Mayotte, la majorité des sites dégradés en altitude sont situés dans les zones agricoles ou aux alentours, une pollution aux nitrates et phosphore est donc possible dans ces sites et les concentrations pourraient diminuer ensuite par effet de dilution.

Les modes d'occupation des sols influencent grandement la qualité des eaux. Les forêts et milieux semi-naturels abritent des cours d'eau de bonne qualité tandis que les territoires urbanisés, où les activités humaines sont plus intenses, sont plutôt liés à des cours d'eau dégradés. Aucun effet significatif lié aux territoires agricoles ne ressort de ces analyses, mais la pollution peut être éloignée de ces zones par lixiviation des nitrates et phosphates.

Contrairement à nos hypothèses initiales, les zones les plus densément peuplées en Guyane et dans le sud de la Nouvelle-Calédonie abriteraient des eaux de bonne qualité. Par comparaison aux autres DROM-COMs, ces deux territoires n'ont qu'une faible densité de population (moyenne respective de 3,2 et 14,6 habitants au km²), la pollution qui en découle est donc limitée. En Guyane, la principale source de pollution est liée à l'orpillage. En Nouvelle-Calédonie, elle est liée à l'industrie du nickel. Les zones de pollution ne correspondent pas aux zones d'habitation, ce qui pourrait expliquer en partie cet effet significatif. Les six paramètres physico-chimiques choisis dans cette étude sont surtout des indicateurs de pollutions domestiques, agricoles et urbaines. Nous sommes ici en présence d'une pollution d'origine minière qui est caractérisée principalement par les métaux lourds. La prise en compte de ces métaux comme le mercure, utilisé pour amalgamer l'or, aurait révélé la pollution minière. Dans nos paramètres, seules les matières en suspension reflètent ces activités, mais ce paramètre reste pertinent pour révéler l'orpillage en Guyane.

b) Espèces exotiques envahissantes

Il n'y a aucun effet significatif des variables bioclimatiques décrivant les fluctuations de température sur la pression « espèces exotiques envahissantes ». Les sites où les précipitations annuelles sont les plus fortes correspondent à un indice d'invasibilité plus faible. Cependant, à La Réunion, ces sites sont localisés aux altitudes les plus élevées et les moins densément peuplés. Il est donc difficile de conclure quant au rôle déterministe des précipitations face à la pression « espèces exotiques envahissantes ». A Mayotte, ce résultat statistique n'est pas cohérent avec les observations cartographiques. En effet, les précipitations annuelles les plus

importantes correspondent aux sites abritant les indices d'invasibilité les plus forts. Les précipitations sont fortes sur l'ensemble de Mayotte à l'exception des côtes et de l'île Petite-Terre. Contrairement aux côtes, la Petite-Terre est très impactée par cette pression, elle peut potentiellement être la cause du résultat statistique observé.

L'altitude n'influence pas la pression de la même manière à La Réunion et à Mayotte. Dans la première île, l'indice d'invasibilité augmente dans les zones de faible altitude (figures 9 et 11). Les littoraux ouest et sud sont beaucoup plus impactés que les côtes est et nord (figure 9), on peut donc supposer que les voies d'introduction sont localisées à l'ouest de l'île qui abrite le Grand Port Maritime de La Réunion et le port de Saint-Gilles-les-Bains. On trouve sur la côte nord le port de Sainte-Marie et l'aéroport de La Réunion Roland Garros, non loin de Saint-Denis. L'aéroport de Saint-Pierre Pierrefonds est situé sur la côte sud. Toutes ces entrées sont susceptibles d'être des voies d'introduction d'espèces exotiques envahissantes, elles sont absentes de la côte est beaucoup moins impactée. Il est donc probable que les fortes altitudes de La Réunion soient défavorables à l'expansion des espèces invasives végétales. A Mayotte, les plus fortes altitudes sont associées à des valeurs plus importantes de l'indice d'invasibilité. Le relief est plutôt faible sur cette île et les zones les plus hautes dont il est question correspondent aux forêts et milieux semi-naturels (figures 10 et 11). L'altitude est probablement trop faible à Mayotte pour limiter la dispersion des espèces invasives végétales.

Les trois modes d'occupation des sols étudiés, à savoir les territoires urbanisés, agricoles et les forêts et milieux semi-naturels sont associés à de forts taux d'invasibilité. Les surfaces forestières et les milieux semi-naturels se distinguent sur les deux DROMs comme étant le mode d'occupation du sol associé aux intensités les plus élevées. Les zones urbaines et agricoles semblent propices à l'introduction d'espèces invasives végétales, les premières en raison des activités portuaires, aériennes, ornementales, etc..., et les secondes à des fins alimentaires et de lutte biologique. Enfin, les forêts et milieux semi-naturels sont favorables à l'élargissement de l'aire de répartition de ces espèces car les ressources y sont beaucoup moins limitantes, il n'est donc pas surprenant que la pression soit plus forte dans ces milieux.

La densité de population humaine a un effet marginalement significatif à Mayotte et est associée à une intensité plus forte de la pression. On observe effectivement cette relation en Petite-Terre qui est la zone la plus peuplée de Mayotte et qui est également très impactée par les espèces invasives végétales. Cette zone est essentiellement couverte par des aires urbaines et agricoles, ce qui semble confirmer le lien entre les activités humaines et les fortes intensités de la pression « espèces exotiques envahissantes ». La Petite-Terre abrite par ailleurs l'aéroport

de Dzaoudzi-Pamandzi qui pourrait être une voie d'introduction. En Grande-Terre, le port de Longoni situé au nord-est de l'île à Koungou, la deuxième commune la plus peuplée de Mayotte, peut lui aussi être une voie d'introduction de ces espèces.

3) Limites de cette étude

Nous avons parfois rencontré dans cette étude des problèmes de réplification. On considère qu'il faut au moins 30 sites par DROM-COM pour qu'une analyse soit robuste. Ce critère n'est pas rempli pour la pollution aquatique à Mayotte qui ne compte que 20 stations de suivi. Si l'analyse des résidus du modèle linéaire indique que celui-ci est correct, il serait souhaitable à l'avenir d'accroître la couverture de l'île par un plus grand nombre de sites d'observation.

La distribution des observations sur la fenêtre temporelle cible a possiblement affecté les différences entre DROM-COM pour la pollution des cours d'eau. La période 2010 – 2020 a été retenue pour cette étude mais toutes les données ne couvraient pas l'intégralité de la période. Certaines séries de données ne concernent que le début ou la fin de la décennie. Les données issues des réseaux de surveillance de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) ainsi que celles centralisées par l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie (OEIL) comportent plusieurs séries de données alors que celles issues des publications scientifiques sont constituées d'instantanés (une à deux campagnes d'échantillonnage seulement). La temporalité ne pose pas de problèmes pour les espèces exotiques envahissantes à La Réunion et à Mayotte où les données sont actualisées, mais d'autres DROM-COMs n'ont pas mis à jour les listes des espèces exotiques envahissantes présentes sur leur territoire depuis le début de la décennie.

Les différentes sources d'information utilisées peuvent induire une hétérogénéité dans la qualité des données. Les données issues de suivis imposés par la DCE sont collectées selon une méthode standardisée et sont homogènes, ce qui n'est pas forcément le cas pour celles issues des publications scientifiques ou d'autres programmes de suivi où les méthodes sont parfois variables. Il existe par ailleurs des manques (absence de données ponctuelles ou pour une variable entière) dans pratiquement tous les jeux de données utilisés comme indiqué dans le tableau 4. Certains types de pollution sont donc sous-représentés, c'est le cas des pollutions domestiques et urbaines en Guyane et à La Réunion et de la pollution agricole en Nouvelle-Calédonie. Sur une île densément peuplée comme La Réunion, la sous-représentation de la pollution d'origine urbaine peut constituer un biais dans les résultats. L'hétérogénéité des

données peut être problématique pour les espèces exotiques envahissantes si l'effort d'échantillonnage varie entre les différents producteurs de données voire entre les observateurs. C'est pourquoi les données issues du programme de sciences participatives Pl@ntNet n'ont pas été incluses dans ce travail, l'effort d'échantillonnage étant bien plus important dans les zones facilement accessibles avec une sur-représentation de données dans et aux alentours des zones urbaines. Pour Mayotte, il n'y a que deux producteurs de données, le biais est donc plutôt faible. A La Réunion, il risque d'être plus élevé avec un grand nombre de producteurs et des zones de hautes altitudes moins facilement accessibles.

L'aboutissement de ce travail dans le temps imparti a nécessité de faire des compromis. Le choix des territoires a découlé de l'existence de données, de leur qualité et de leur quantité. L'existence de données sur la pollution des cours d'eau étant incertaine en dehors des 5 DROMs, seule la Nouvelle-Calédonie a été retenue dans les collectivités d'Outre-mer (COM). L'étude d'un territoire situé plus au nord comme Saint-Pierre-et-Miquelon aurait par exemple été intéressante. Toujours dans une optique de disponibilité des données, des paramètres physico-chimiques des cours d'eau ont été choisis comme indicateurs de pollution. La prise en compte d'indices biotiques aurait mieux révélé l'existence de sites dégradés comme à La Réunion (OER. 2019) et à Mayotte (Pareto et al. 2013). Pour les espèces exotiques envahissantes, la comparaison avec des contextes biogéographiques différents de celui de La Réunion et de Mayotte aurait été intéressante mais l'absence ou le caractère partiel des données nous a empêché de le faire. L'étude des espèces invasives animales aurait également été une plus-value pour ce travail mais les connaissances sur leurs aires de répartition semblent imparfaites.

4) Signification des résultats dans le contexte global

Ce travail avait pour but de savoir comment les pressions « espèces exotiques envahissantes » et « pollution aquatique » répondent à l'intensité des activités humaines et au contexte biogéographique dans un contexte multi-régional. La première hypothèse est que si les activités humaines sont localement importantes, alors l'intensité des deux pressions y augmentera également. La seconde suppose que le contexte biographique de la zone influence plus fortement la pression « espèces exotiques envahissantes » que « pollution aquatique ».

L'intensité des deux pressions augmente effectivement avec l'importance des activités humaines. La dégradation des cours d'eau et l'indice d'invasibilité sont plus forts dans les territoires urbanisés et agricoles. En revanche, les territoires moins impactés par les activités humaines comme les forêts et les milieux semi-naturels influent différemment sur chaque

pression. La qualité des cours d'eau y est meilleure alors que l'indice d'invasibilité y est plus fort. Ainsi, la pollution aquatique est directement influencée par les activités humaines, alors que les espèces exotiques envahissantes élargissent leur aire de répartition en dehors de ces zones d'activité. L'intensité de la pression peut être plus forte dans les milieux semi-naturels par rapport aux milieux anthropisés.

On peut difficilement conclure sur le fait que le contexte biogéographique influence plus fortement la pression « espèces exotiques envahissantes » que « pollution aquatique ». La pollution des cours d'eau semble être modulée par des variations de température spécifiques à la région considérée tandis que les précipitations auraient un effet bénéfique sur la qualité des cours d'eau. La pression « espèces exotiques envahissantes » ne serait pas influencée par la température mais modulée par les précipitations. Cependant, La Réunion et Mayotte étant caractérisées par un contexte biogéographique similaire hormis la superficie de l'île, on ne peut pas savoir si un autre contexte biogéographique donnerait des résultats différents.

Conclusion

Ce travail de synthèse et de comparaisons entre six DROM-COMs aux contextes biogéographiques différents montre que le bon état des cours d'eau au sens de la Directive Cadre sur l'Eau n'est pas largement atteint dans tous les DROMs, tandis que les contextes climatiques régionaux peuvent moduler l'impact des activités humaines sur la qualité de l'eau. L'avancement du travail sur les espèces exotiques envahissantes est variable entre les DROM-COMs et est le plus abouti à La Réunion et à Mayotte. Si l'introduction de ces espèces se fait essentiellement par les voies portuaires et aériennes, ce travail a mis en avant le rôle prépondérant des forêts et milieux semi-naturels dans l'expansion des espèces invasives végétales. L'état des lieux de ces deux pressions et leurs relations aux environnements locaux et régionaux pourrait permettre de prédire leur évolution à la lumière de scénarios de développement et de climat.

Bibliographie

- Bernadet C., Touron-Poncet H., Desrosiers C., Compin A., Bargier N., Céréghino R. (2013) Invertebrate distribution patterns and river typology for the implementation of the water framework directive in Martinique, French Lesser Antilles. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.* 01. <https://doi.org/10.1051/kmae/2013036>
- DEAL Guadeloupe, DEAL Martinique (2013) Diagnostic sur l'invasion biologique Aux Antilles Françaises Stratégie de suivi et de prévention
- De Bourmont M. (2012) La résolution d'un problème de multicolinéarité au sein des études portant sur les déterminants d'une publication volontaire d'informations: proposition d'un algorithme de décision simplifié basé sur les indicateurs de Belsley, Kuh et Welsch (1980)
- Dedieu N., Allard L., Vigouroux R., Brosse S., Céréghino R. (2014) Physical habitat and water chemistry changes induced by logging and gold mining in French Guiana streams. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.* 02. <https://doi.org/10.1051/kmae/2014026>
- De Sartre A., Oszwald J., Castro M., Dufour S. (2014) *Political ecology des services écosystémiques, EcoPolis. P.I.E. Peter Lang, Bruxelles ; New York.*
- Gaujous D. (1993) *La pollution dans les milieux aquatiques. Aide-mémoire. Éditions Technique et Documentation*
- Groupe espèces envahissantes (2011) *Plantes envahissantes pour les milieux naturels de Nouvelle-Calédonie. Agence pour la prévention et l'indemnisation des calamités agricoles ou naturelles Editeur, Nouméa.*
- IPBES (2019) *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*
- Jax K (2005) Function and "functioning" in ecology: what does it mean? *Oikos* 111, 641–648. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2005.13851.x>
- Khatri N., Tyagi S. (2015) Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in Life Science* 8, 23–39. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
- Lavergne C. (2016) *Méthode de hiérarchisation des espèces végétales exotiques envahissantes et potentiellement envahissantes de Mayotte*
- Léotard G., Chaline O. (2013) *Inventaire et cartographie de la répartition des espèces végétales invasives en Guyane : Rapport d'étude*
- Leynaud G., Verrel J.L. (1980) *Modifications du milieu aquatique sous l'influence des pollutions. In : Pesson P. (ed.). La pollution des eaux continentales. Incidence sur les biocénoses aquatiques. Gauthier-Villars*

- Marquié J., Lefrançois E., Dominique Y., Boutry S., Coste M., Delmas F (2014) Programme d'Etude et de Recherche 2012-2015 - Diatomées des rivières de Nouvelle-Calédonie : Conception d'un atlas taxinomique et d'un indice de bio-évaluation de la qualité écologique des cours d'eau à partir des diatomées benthiques. Rapport de fin de Phase 2 (Nov. 2014) 127.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005) Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Monnier O. (2019) Évaluer l'état de santé des milieux aquatiques en Outre-mer : des outils basés sur la biodiversité
- Mora C., Tittensor D.P., Adl S., Simpson A.G.B., Worm B. (2011) How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? PLoS Biol 9, e1001127. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
- Namour P. (1999) Auto-épuration des rejets organiques domestiques: nature et effet de la matière organique résiduaire en rivière
- Ness B., Anderberg S., Olsson L. (2010) Structuring problems in sustainability science: The multi-level DPSIR framework. Geoforum 41, 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2009.12.005>
- Observatoire National de la Biodiversité (2019) Bilan 2019 de l'ONB – La nature sous pressions – Pourquoi la biodiversité disparaît ?
- Office de l'eau Guadeloupe (2019) Révision de l'état des lieux 2019 – Evaluation de l'état des masses d'eau
- Office de l'eau Guyane (2019) Mise en œuvre de la révision de l'Etat Des Lieux (EDL) du cycle de gestion de l'eau 2022-2027 de la Guyane « EDL 2019 »
- Office de l'eau Martinique (2019) Révision de l'état des lieux 2019 du district hydrographique de la Martinique
- Office de l'eau Réunion (OER) (2019) Etat des lieux 2019 du bassin Réunion
- Pareto, Asconit (2013) Evaluation de l'état et du Risque de Non Attente des Objectifs Environnementaux (RNAOE) à l'horizon 2021 pour les masses d'eau du bassin de Mayotte au titre de la Directive Cadre sur l'Eau, rapport final, Décembre 2013, 217 pages + annexes
- Patil P.N., Sawant D.V., Deshmukh R.N. (2012) Physico-chemical parameters for testing of water – A review
- Popović N.Z., Đuknić J.A., Atlagić J.Ž.Č., Raković M.J., Marinković N.S., Tubić B.P., Paunović M.M. (2016) Application of the Water Pollution Index in the Assessment of the Ecological Status of Rivers: a Case Study of the Sava River, Serbia

Touron-Poncet H., Bernadet C., Compin A., Bargier N., Céréghino R. (2013) River classification as the basis for freshwater biological assessment in overseas Europe: Issues raised from Guadeloupe (French Lesser Antilles): Typology of Guadeloupean rivers. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 98, 34–43. <https://doi.org/10.1002/iroh.201201475>

UICN France [coord. Gargominy O] (2003) Biodiversité et conservations dans les collectivités françaises d'outre-mer

World Wildlife Fund (WWF) (2020) Global futures

Annexes

Annexe 1 : Producteurs des données physico-chimiques des cours d'eau

DROM-COM	Producteurs de données
Guadeloupe	Agence Régionale de Santé (A.R.S.) de Guadeloupe Institut National de la Recherche Office de l'Eau de la Guadeloupe (Gourbeyre) Touron-Poncet et al. (2013)
Guyane	Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) Guyane Dedieu et al. (2014) Directive de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Guyane Office de l'Eau de Guyane
Martinique	Bernadet et al. (2013) Directive de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Martinique Office de l'Eau de la Martinique
Mayotte	Direction de l'environnement de l'aménagement et du logement de Mayotte
Nouvelle-Calédonie	Aqua Terra Bio eKo BioIMPACT ERBIO ETHYCO ETHYCO – Calédonienne des Eaux HYTEC HYTEC – Calédonienne des Eaux Marquié et al. (2014) Vale NC
La Réunion	Office de l'eau de La Réunion

Annexe 2 : Sources des données sur la localisation des espèces exotiques envahissantes

Mayotte :

- ◆ Données flore du Conservatoire Botanique National de Mascarin - Antenne de Mayotte
- ◆ Données flore de l'Office National des Forêts - Agence de Mayotte

La Réunion :

- ◆ All herbarium specimens of grasses from Madagascar and the surrounding islands: family Poaceae, sector AFM
- ◆ All herbarium specimens of grasses from Madagascar and the surrounding islands: family Poaceae, sector AFM | Données naturalistes d'Olivier ESCUDER
- ◆ All herbarium specimens of grasses from Madagascar and the surrounding islands: family Poaceae, sector AFM | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017)
- ◆ All herbarium specimens of grasses from Madagascar and the surrounding islands: family Poaceae, sector AFM | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ All herbarium specimens of grasses from Madagascar and the surrounding islands: family Poaceae, sector AFM | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Données naturalistes de Cyril EPICOCO | Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export décembre 2019)
- ◆ Données naturalistes de Cyril EPICOCO | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017)
- ◆ Données naturalistes de Cyril EPICOCO | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2018)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques agrégées au sein de Mascarin (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017)

- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017) | Relevés de flore (ECO-MED-OI, 2000-2019)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Observations opportunistes dans la Réserve de l'Étang de Saint-Paul (RNNESP, 2019)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Données naturalistes d'Olivier ESCUDER | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Inventaire de la flore (EcoDDen, 2012-2016)
- ◆ Inventaire de la flore (EcoDDen, 2012-2016) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017)
- ◆ Inventaire de la flore (EcoDDen, 2012-2016) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Inventaire de la flore patrimoniale de la RNNESP (RNNESP, export décembre 2018) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017)
- ◆ Inventaire de la flore patrimoniale de la RNNESP (RNNESP, export décembre 2018) | Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017)
- ◆ MEL AVH data
- ◆ Naturalis Biodiversity Center (NL) - Botany
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarin, 1995-2017)

- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUN, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2018)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2018) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la Réserve de l'Étang de Saint-Paul (RNNESP, 2019)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la Réserve de l'Étang de Saint-Paul (RNNESP, 2019) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, 2018)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la Réserve de l'Étang de Saint-Paul (RNNESP, 2019) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, export décembre 2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, 2018)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, 2018) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, export décembre 2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, export décembre 2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore (ECO-MED-OI, 2000-2019)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export mai 2018)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)

- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export mai 2018)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export décembre 2019)
- ◆ Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export mai 2018)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2018)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2018) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la Réserve de l'Étang de Saint-Paul (RNNESP, 2019)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la Réserve de l'Étang de Saint-Paul (RNNESP, 2019) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, 2018) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, export décembre 2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, 2018)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, 2018) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, export décembre 2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, export décembre 2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore (ECO-MED-OI, 2000-2019)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRun, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)

- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations floristiques (CBN-CPIE Mascarine, 1995-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export décembre 2019)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2018) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, 2018)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, export décembre 2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUn, 1972-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)

- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUN, 1972-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export décembre 2019)
- ◆ Observations floristiques agrégées au sein de Mascarine (partenaires externes du CBNM hors PNRUN, 1972-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export mai 2018)
- ◆ Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013)
- ◆ Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013) | Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2013) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations issues de diverses études (Biotope 2004 – 2018)
- ◆ Observations opportunistes dans la Réserve de l'Étang de Saint-Paul (RNNESP, 2019)
- ◆ Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, 2018)
- ◆ Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, 2018) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Observations opportunistes dans la RNNESP (RNNESP, export décembre 2017)
- ◆ Relevés de flore (ECO-MED-OI, 2000-2019)
- ◆ Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export décembre 2019)
- ◆ Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export décembre 2019)
- ◆ Relevés de flore exotique isolée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export mai 2018)
- ◆ Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017)
- ◆ Relevés de flore vasculaire menacée de La Réunion (Parc national 2009-2017) | Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export décembre 2019)
- ◆ Royal Botanic Gardens, Kew - Herbarium Specimens
- ◆ Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export décembre 2019)
- ◆ Signalements d'espèces exotiques envahissantes (DEAL/GEIR, export mai 2018)
- ◆ SINP 974
- ◆ Tropicos Specimen Data

Annexe 3 : Echelle de Lavergne

Échelle d'invasibilité	Détails de l'échelle d'invasibilité
5	Espèce exotique très envahissante : large répartition spatiale, populations très nombreuses, fortes densités ; dominante ou co-dominante à la fois dans les milieux anthropisés, semi-naturels et naturels, et exerçant un impact direct significatif sur les écosystèmes indigènes.
4	Espèce exotique moyennement envahissante : répartition relativement plus limitée que celle des espèces d'invasibilité 5, populations nombreuses, densités plus ou moins importantes ; se propageant dans les milieux naturels, semi-naturels et anthropisés, sans toutefois (co-)dominer la végétation, avec un impact modéré sur les écosystèmes indigènes.
3+	Espèce exotique envahissante dans les milieux anthropisés, mais aussi présente dans certains milieux naturels, sans montrer pour le moment un comportement envahissant ; espèces émergentes ou potentiellement envahissantes en milieu naturel.
3	Espèce exotique envahissante uniquement dans les milieux anthropisés, c'est-à-dire régulièrement perturbés par les activités humaines : répartition spatiale relativement importante, populations nombreuses, densités plus ou moins fortes (ex. mauvaises herbes de culture, adventices et rudérales).
2P	Espèce exotique potentiellement envahissante, c'est-à-dire cultivée, échappée de jardin et/ou culture ou localement naturalisée (répartition très localisée, faible nombre de populations, densités faibles), montrant un comportement envahissant dans seulement une ou deux localités de l'île, et connue pour être envahissante ailleurs dans le monde.
2	Espèce exotique potentiellement envahissante, c'est-à-dire cultivée, échappée de jardin et/ou culture ou localement naturalisée dans une ou plusieurs localités (répartition très localisée, faible nombre de populations, densités faibles, ampleur de propagation non connue ou encore limitée), et connue pour être envahissante ailleurs dans le monde.
1P	Espèce exotique non envahissante (mais potentiellement envahissante), anciennement introduite (depuis au moins 100 ans), cultivée, parfois subspontanée, connue pour être envahissante ailleurs dans le monde.
1	Espèce exotique non envahissante, anciennement introduite (depuis au moins 100 ans), cultivée, parfois subspontanée, naturalisée, et non connue pour être envahissante ailleurs dans le monde.
0	Espèce exotique insuffisamment documentée (aucune information disponible), c'est-à-dire qu'il n'est pas possible de statuer par manque de données, ou non évaluée à ce jour.

Annexe 4 : Détail des espèces exotiques envahissantes ciblées dans cette étude

La Réunion :

<i>Abutilon hirtum</i>	<i>Blumea lacera</i>	<i>Crassocephalum</i>
<i>Acacia auriculiformis</i>	<i>Bocconia frutescens</i>	<i>crepidioides</i>
<i>Acacia dealbata</i>	<i>Boehmeria penduliflora</i>	<i>Crassocephalum rubens</i>
<i>Acacia mearnsii</i>	<i>Boerhavia coccinea</i>	<i>Crocoshmia x crocosmiiflora</i>
<i>Acalypha indica</i>	<i>Breynia retusa</i>	<i>Crotalaria berteroniana</i>
<i>Acanthospermum hispidum</i>	<i>Bridelia micrantha</i>	<i>Crotalaria retusa</i>
<i>Achyranthes aspera</i> var. <i>aspera</i>	<i>Brillantaisia owariensis</i>	<i>Croton bonplandianus</i>
<i>Adenantha pavonina</i>	<i>Cajanus scarabaeoides</i>	<i>Cuphea ignea</i>
<i>Adiantum raddianum</i>	<i>Calophyllum soulattri</i>	<i>Cuscuta campestris</i>
<i>Aeschynomene americana</i>	<i>Canna glauca</i>	<i>Cyanthillium cinereum</i>
<i>Agave americana</i>	<i>Canna indica</i>	<i>Cyclosporum</i>
<i>Ageratina riparia</i>	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>leptophyllum</i>
<i>Ageratum conyzoides</i>	<i>Carallia brachiata</i>	<i>Cyperus involucratus</i>
<i>Albizia lebeck</i>	<i>Cardiospermum</i>	<i>Dactylis glomerata</i>
<i>Aleurites moluccanus</i>	<i>halicacabum</i>	<i>Danthonia decumbens</i>
<i>Alternanthera brasiliana</i>	<i>Cardiospermum</i>	<i>Datura innoxia</i>
<i>Alternanthera pungens</i>	<i>halicacabum</i> var. <i>microcarpum</i>	<i>Daucus carota</i> subsp. <i>carota</i>
<i>Amaranthus blitum</i>	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	<i>Desmanthus virgatus</i>
<i>Amaranthus blitum</i> subsp. <i>emarginatus</i>	<i>Casuarina equisetifolia</i> subsp. <i>equisetifolia</i>	<i>Desmodium incanum</i>
<i>Ambrosia tenuifolia</i>	<i>Casuarina glauca</i>	<i>Desmodium intortum</i>
<i>Anomatheca laxa</i>	<i>Catharanthus roseus</i>	<i>Desmodium tortuosum</i>
<i>Anredera cordifolia</i>	<i>Celosia argentea</i>	<i>Dichrostachys cinerea</i>
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	<i>Cenchrus clandestinus</i>	<i>Dietes iridioides</i>
<i>Ardisia crenata</i>	<i>Cenchrus purpureus</i>	<i>Digitalis purpurea</i>
<i>Argemone mexicana</i>	<i>Centrosema virginianum</i>	<i>Dioscorea alata</i>
<i>Argyreia nervosa</i>	<i>Cerastium fontanum</i>	<i>Dioscorea bulbifera</i>
<i>Aristolochia elegans</i>	<i>Cerastium fontanum</i> subsp. <i>vulgare</i>	<i>Diospyros digyna</i>
<i>Arivela viscosa</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Distimake tuberosus</i>
<i>Artemisia verlotiorum</i>	<i>Chloris barbata</i>	<i>Dolichandra unguis-cati</i>
<i>Arundina graminifolia</i>	<i>Chloris gayana</i>	<i>Drymaria cordata</i>
<i>Asclepias curassavica</i>	<i>Chloris pycnothrix</i>	<i>Eclipta prostrata</i>
<i>Asystasia gangetica</i> subsp. <i>micrantha</i>	<i>Cinchona officinalis</i>	<i>Ehretia cymosa</i>
<i>Barleria lupulina</i>	<i>Cinnamomum burmannii</i>	<i>Elephantopus mollis</i>
<i>Barleria prionitis</i>	<i>Cinnamomum camphora</i>	<i>Elettaria cardamomum</i>
<i>Basella alba</i>	<i>Clerodendrum</i>	<i>Eleusine indica</i>
<i>Begonia cucullata</i> var. <i>spatulata</i>	<i>speciosissimum</i>	<i>Emilia sonchifolia</i>
<i>Begonia diadema</i>	<i>Clitoria ternatea</i>	<i>Epipremnum aureum</i>
<i>Begonia foliosa</i> var. <i>miniata</i>	<i>Coccinia grandis</i>	<i>Eragrostis tenuifolia</i>
<i>Begonia rex</i>	<i>Cocculus orbiculatus</i>	<i>Erigeron canadensis</i>
<i>Begonia ulmifolia</i>	<i>Coix lacryma-jobi</i>	<i>Erigeron karvinskianus</i>
<i>Biancaea decapetala</i>	<i>Colocasia esculenta</i>	<i>Erigeron sumatrensis</i>
<i>Bidens pilosa</i>	<i>Convolvulus farinosus</i>	<i>Eriobotrya japonica</i>
	<i>Cordia africana</i>	<i>Erythrina corallodendron</i>
		<i>Eugenia uniflora</i>
		<i>Euphorbia cyathophora</i>
		<i>Euphorbia hirta</i>

Euphorbia hypericifolia	Lagenaria sphaerica	Paederia foetida
Euphorbia peplus	Landoltia punctata	Parthenium hysterophorus
Euphorbia prostrata	Lantana camara	Paspalum dilatatum
Fragaria vesca	Lapsana communis	Paspalum nutans
Fraxinus floribunda	Leonurus japonicus	Paspalum paniculatum
Fuchsia boliviana	Lepidium didymum	Paspalum urvillei
Fuchsia magellanica	Leucaena leucocephala	Passiflora edulis
Fuchsia x exoniensis	Ligustrum ovalifolium	Passiflora foetida
Fumaria muralis	Ligustrum robustum subsp. walkeri	Passiflora suberosa
Furcraea foetida	Litsea glutinosa	Passiflora tarminiana
Galactia tenuiflora	Livistona chinensis	Passiflora tripartita var. mollissima
Galinsoga parviflora	Lobelia cliffortiana	Pavonia urens
Geranium robertianum	Lonicera japonica	Persicaria capitata
Gladiolus dalenii	Lophospermum erubescens	Persicaria chinensis
Gomphrena celosioides	Luzula campestris var. gracilis	Persicaria decipiens
Grevillea banksii	Macroptilium	Phlogacanthus turgidus
Grevillea robusta	atropurpureum	Phyllanthus amarus
Hedera helix	Magnolia champaca	Phyllanthus niruroides
Hedychium coccineum	Malus domestica	Phyllanthus urinaria
Hedychium coronarium	Mangifera indica	Phytolacca americana
Hedychium flavescens	Melilotus albus	Pilea microphylla
Hedychium gardnerianum	Melinis minutiflora	Pinus pinaster
Heliotropium amplexicaule	Melochia pyramidata	Piper sarmentosum
Heliotropium indicum	Microlaena stipoides	Pistia stratiotes
Heterotis decumbens	Mimosa albida	Pithecellobium dulce
Hippeastrum reginae	Mimosa pudica	Pityrogramma calomelanos var. aureoflava
Hippobroma longiflora	Mimosa pudica var. hispida	Plantago lanceolata
Hiptage benghalensis	Mirabilis jalapa	Plantago major
Holcus lanatus	Momordica charantia	Pluchea rufescens
Hypochoeris radicata	Montanoa hibiscifolia	Poa annua
Impatiens flaccida	Morus alba	Pogonatherum paniceum
Impatiens walleriana	Morus alba var. indica	Polygala virgata
Indigofera hirsuta	Murraya paniculata	Polygala virgata var. decora
Indigofera linifolia	Nasturtium officinale	Polysphaeria multiflora
Indigofera suffruticosa	Nicandra physalodes	Potentilla indica
Ipomoea alba	Nicotiana plumbaginifolia	Prosopis juliflora
Ipomoea aquatica	Nothoscordum gracile	Prunella vulgaris
Ipomoea batatas	Oenothera rosea	Prunus domestica
Ipomoea cairica	Oenothera stricta	Psidium cattleianum
Ipomoea eriocarpa	Opuntia ficus-indica	Quercus robur
Ipomoea hederifolia	Opuntia monacantha	Ranunculus bulbosus
Ipomoea indica	Oxalis corniculata	Raphanus raphanistrum
Ipomoea nil	Oxalis corniculata var. corniculata	Ravenala madagascariensis
Ipomoea obscura	Oxalis debilis	Ricinus communis
Ipomoea purpurea	Oxalis debilis var. corymbosa	Rivina humilis
Jatropha curcas	Oxalis latifolia	Rottboellia cochinchinensis
Jatropha gossypifolia		Rubus alceifolius
Justicia carnea		Rubus fraxinifolius
Justicia gendarussa		
Kalanchoe pinnata		

Rubus rosifolius	Sida retusa	Themeda quadrivalvis
Ruellia brevifolia	Sigesbeckia orientalis	Thunbergia grandiflora
Rumex abyssinicus	Sisyrinchium micranthum	Thunbergia laevis
Rumex acetosella subsp. pyrenaicus	Solanum americanum	Thysanolaena latifolia
Rumex steudelii	Solanum mauritianum	Tibouchina urvilleana
Saccharum spontaneum	Sonchus asper	Tithonia diversifolia
Salvia coccinea	Spathodea campanulata	Tragopogon pratensis
Sanchezia speciosa	Spathoglottis plicata	Trema orientalis
Sansevieria metallica	Spergula arvensis	Tridax procumbens
Sansevieria metallica var. nyasica	Spermaceoce dasycephala	Trifolium dubium
Schinus terebinthifolia	Sphaeropteris cooperi	Trifolium repens
Schizolobium parahyba	Sporobolus africanus	Triphasia trifolia
Searsia longipes	Stachys arvensis	Ulex europaeus
Selenicereus undatus	Stachytarpheta jamaicensis	Urochloa maxima
Senecio tamoides	Stachytarpheta urticifolia	Urochloa mutica
Senegalia rugata	Stellaria media	Urochloa ramosa
Senna occidentalis	Strobilanthes hamiltoniana	Vachellia farnesiana
Sesbania bispinosa	Synedrella nodiflora	Verbascum thapsus
Setaria barbata	Syngonium podophyllum	Verbena bonariensis
Setaria pumila	Syzygium cumini	Verbena brasiliensis
Setaria verticillata	Syzygium jambos	Verbena rigida
Sida acuta	Tadehagi auriculatum	Verbesina encelioides
Sida alnifolia	Tadehagi triquetrum	Veronica agrestis
Sida cordata	Tecoma stans	Veronica arvensis
Sida cordifolia subsp. maculata	Tephrosia candida	Waltheria indica
Sida glabra	Tephrosia noctiflora	Withania somnifera
	Teramnus labialis	Youngia japonica
	Tetragonia tetragonioides	Zantedeschia aethiopica
	Tetrapanax papyrifera	

Mayotte :

Abutilon indicum (L.) Sweet	Desmodium barbatum (L.) Benth.	Pithecellobium dulce (Roxb.) Benth.
Acacia auriculiformis A. Cunn. ex Benth.	Desmodium barbatum var. dimorphum (Welw. ex Baker) B.G.Schub.	Pseudogynoxys benthamii Cabrera
Acacia farnesiana (L.) Willd.	Desmodium incanum (G.Mey.) DC.	Psidium guajava L.
Acacia mangium Willd.	Desmodium ospriostreblum Chiov.	Quisqualis indica L.
Adenantha pavonina L.	Desmodium triflorum (L.) DC.	Ricinus communis L.
Aeschynomene americana L.	Desmodium velutinum (Willd.) DC.	Rivinia humilis L.
Agave sisalana Perrine	Dichrostachys cinerea (L.) Wight & Arn.	Rubus alceifolius Poir.
Ageratum conyzoides L.	Dieffenbachia seguine (Jacq.) Schott	Salvinia molesta D.S.Mitch.
Albizia chinensis (Osbeck) Merr.		Sansevieria metallica Hort. ex Gereme & Labroy
Albizia lebbeck (L.) Benth.		Sansevieria trifasciata Prain
Aleurites moluccanus (L.) Willd.		Sapindus saponaria L.
Alocasia macrorrhizos (L.) G.Don		Senna alata (L.) Roxb.
		Senna obtusifolia (L.) H.S.Irwin & Barneby

Alternanthera pungens Kunth	Drymaria cordata (L.) Willd. ex Schult.	Senna occidentalis (L.) Link
Amaranthus hybridus L.	Elaeis guineensis Jacq.	Setaria verticillata (L.) P.Beauv.
Amaranthus viridis L.	Elephantopus mollis Kunth	Sida acuta Burm.f.
Annona squamosa L.	Eragrostis amabilis (L.) Wight & Arn. ex Nees	Sida cordifolia L.
Antigonon leptopus Hook. & Arn.	Flacourtia indica (Burm. f.) Merr.	Sida rhombifolia L.
Areca catechu L.	Furcraea foetida (L.) Haw.	Sida urens L.
Argemone mexicana L.	Gliricidia sepium (Jacq.) Kunth ex Walp.	Sigesbeckia orientalis L.
Bambusa vulgaris Schrad. ex J.C.Wendl.	Heliotropium indicum L.	Solanum americanum Mill.
Bidens pilosa L.	Hibiscus surattensis L.	Solanum mauritianum Scop.
Blumea axillaris (Lam.) DC.	Hippobroma longiflora (L.) G.Don	Solanum richardii Dunal
Boerhavia diffusa L.	Indigofera suffruticosa Mill.	Solanum torvum Sw.
Cajanus scarabaeoides (L.) Thouars	Ipomoea alba L.	Spathodea campanulata P. Beauv.
Canna indica L.	Ipomoea hederifolia L.	Sphagneticola trilobata (L.) Pruski
Cardiospermum halicacabum L.	Ipomoea nil (L.) Roth	Stachytarpheta jamaicensis (L.) Vahl
Castilla elastica Sesse	Justicia gendarussa Burm.f.	Stachytarpheta urticifolia Sims
Centrosema pubescens Benth.	Kalanchoe pinnata (Lam.) Pers.	Struchium sparganophorum (L.) Kuntze
Chamaecrista absus (L.) H.S. Irwin & Barneby	Kleinhovia hospita L.	Syngonium podophyllum Schott
Chamaecrista telfairiana (Hook.f.) Lock	Lantana camara L.	Syzygium jambos (L.) Alston
Chamaesyce hirta (L.) Millsp.	Lantana trifolia L.	Tecoma stans (L.) Juss. ex Kunth
Chamaesyce prostrata (Aiton) Small	Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit	Thunbergia alata Bojer ex Sims
Chloris barbata Sw.	Litsea glutinosa (Lour.) C. Rob.	Thunbergia grandiflora (Roxb. ex Rottler) Roxb.
Cinnamomum verum J. Presl	Malvastrum coromandelianum (L.) Garcke	Trichodesma zeylanicum (Burm.f.) R.Br.
Citrus medica L.	Melia azedarach L.	Tridax procumbens L.
Cleome gynandra L.	Mimosa diplotricha C.Wright ex Sauvalle	Triumfetta rhomboidea Jacq.
Cleome viscosa L.	Mimosa pudica L.	Turnera ulmifolia L.
Clidemia hirta (L.) D. Don	Mirabilis jalapa L.	Urena lobata L.
Clitoria ternatea L.	Mollugo nudicaulis Lam.	Vangueria madagascariensis J.F. Gmel.
Cocos nucifera L.	Momordica charantia L.	Vernonia cinerea (L.) Less.
Coix lacryma-jobi L.	Ocimum gratissimum L.	Waltheria indica L.
Colocasia esculenta (L.) Schott	Oxalis corniculata L.	Youngia japonica (L.) DC.
Conyza sumatrensis (Retz.) E.Walker	Parthenium hysterophorus L.	Zingiber zerumbet (L.) Roscoe ex Sm.
Corchorus aestuans L.	Passiflora foetida L.	Ziziphus spina-christi (L.) Desf.
Crotalaria hirta Willd.	Passiflora suberosa L.	
Croton bonplandianus Baill.	Phyllanthus amarus Schumach. & Thonn.	
Datura metel L.*	Phyllanthus tenellus Roxb.	
Desmanthus virgatus (L.) Willd.	Phyllanthus urinaria L.	

Résumé

Face à l'accélération de l'érosion de la biodiversité en Outre-mer, ce travail cherche à déterminer comment les pressions « pollution aquatique » et « espèces exotiques envahissantes » répondent à l'intensité des activités humaines et aux contraintes biogéographiques dans un contexte multi-régional. Pour répondre à cette question, cette étude a été divisée en deux grandes étapes : la cartographie des pressions et l'analyse de l'influence des facteurs anthropiques et environnementaux. Les deux pressions sont influencées par les modes d'occupation des sols. Les forêts et milieux semi-naturels abritent des cours d'eau moins pollués que dans les zones urbaines, alors qu'ils favorisent la dispersion des espèces invasives végétales. Les territoires urbains sont à l'origine de dégradation pour les deux pressions. Les fluctuations de température sont bénéfiques pour la qualité des eaux dans l'hémisphère nord alors qu'elles sont dégradantes dans l'hémisphère sud. La pression « espèces exotiques envahissantes » est plus faible aux hautes altitudes et particulièrement forte aux niveaux des entrées portuaires et aériennes, qui constituent les principales voies d'introduction des espèces exotiques envahissantes. Ce travail a mis en évidence l'impact déterminant des activités humaines sur ces deux pressions et comment des facteurs naturels atténuent ou aggravent chacune des pressions.

Abstract

Faced with the acceleration of biodiversity erosion in overseas french territories, this study aims to know how the pressures “aquatic pollution” and “invasive alien species” are affected by the intensity of human activities and biogeographical constraints in different regions. To answer this question, this study is divided in two steps : the cartography of the two pressures and the analysis of the influence of anthropogenic and environmental factors. The two pressures are influenced by land use patterns. Waterways are less polluted in forests and semi natural areas than in urban areas. The dispersion of invasive plant species is favoured by forests and semi natural areas. These two pressures increase in artificial surfaces. Temperature's fluctuations are associated with higher quality of water in north hemisphere whereas they are associated with a lesser quality in south hemisphere. The pressure “invasive alien species” is lesser at high heights but is especially high near the harbours and airports which are the main entries of invasive alien species. This study highlights the determining impact of human activities on these two pressures and how natural factors reduce or increase each pression.