

RAPPORT DE STAGE

RÉPARTITION DES PLATHELMINTHES TERRESTRES (GEOPLANIDAE) À LA RÉUNION



© R. Pasco

Raphaëlle Pasco
Master 2 Biodiversité, Écologie et Évolution
parcours Biodiversité et Écosystèmes Tropicaux Terrestres
2023 - 2024

Organisme d'accueil : Agence de Recherche pour la Biodiversité à La Réunion

Maître de stage : Estelle Crochelet

et co-maîtres de stage : Jean-Lou Justine, Natacha Nikolic, Claudine Ah-Peng & Nicolas Huet

Référent scientifique : Olivier Flores

Stage co-financé par le Parc National de La Réunion

Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise d'accueil

Remerciements

Je remercie tout d'abord ma maître de stage, Estelle Crochelet, de m'avoir donné la possibilité de monter ce projet au sein de l'association et de m'avoir encadrée de manière bénévole. Merci pour ta confiance, ta disponibilité et ton soutien qui m'ont permis d'évoluer dans cette expérience enrichissante.

Je remercie mes co-encadrants qui m'ont chacun partagé leur expertise et leurs conseils avec une immense bienveillance. Merci à Claudine Ah-Peng de m'avoir prêté de son temps, son matériel et de m'avoir suivie tout au long du stage. Merci à Jean-Lou Justine d'avoir porté un regard sur mon travail et sur l'identification des espèces. Merci à Natacha Nikolic pour ses précieux conseils en matière de rédaction et de statistiques ainsi que ses encouragements tout au long du stage. Un grand merci également à Nicolas Huet, alias "Mc Fishman", de m'avoir fait découvrir l'association l'année dernière, de m'avoir partagé ses passions et son grand savoir sur la biodiversité réunionnaise et ses richesses.

Je remercie également sincèrement mon responsable scientifique, Olivier Flores de m'avoir orientée dans mon étude statistique.

Merci à Yoan Fourcade de m'avoir partagé votre expertise sur la partie modélisation.

I also wanted to thank Leigh Winsor for your precious help with species identifications !

Sans oublier l'ensemble des bénévoles d'ARBRE qui m'ont accompagnée dans mes aventures malgré le temps capricieux et un terrain parfois compliqué. Je pense bien sûr à Alice Vidal, Hélène Lacau, Maëli Augoyard, Vincent Mathy, Océane Desbonnes et Marthe Brigand !

Mention spéciale à mon copain, mes super colocataires, et ma famille pour leur soutien inconditionnel !

Enfin, je remercie le Parc National de La Réunion, co-financeur de ce stage, sans qui ce projet n'aurait pas pu voir le jour. Merci à Marc Salamolard et Benoît Lequette de m'avoir accordé leur confiance et leur appui.



SOMMAIRE

1. Introduction.....	3
2. Matériel et méthodes.....	8
2. 1. Espèces étudiées	8
2. 2. Sites d'étude	9
2. 2. 1. L'île de La Réunion	9
2. 2. 2. Description des sites choisis	11
2. 3. Déroulé du protocole d'échantillonnage en milieu naturel	11
2. 4. Définitions des variables mesurées.....	13
2. 4. 1. Données climatiques	13
2. 4. 2. Mesures de recouvrement et caractérisation de l'habitat	13
2. 5. Identification des espèces.....	14
2. 6. Analyses statistiques.....	14
2. 6. 1. Modélisation des variables mesurées sur l'abondance des plathelminthes terrestres	14
2. 6. 2. Modélisation des variables mesurées sur la diversité des plathelminthes terrestres	15
2. 6. 3. Analyse de l'abondance et de la richesse spécifique des plathelminthes terrestres au sein de différents types de forêts.	15
3. Résultats.....	15
3. 1. Les différentes espèces identifiées au sein des espaces protégés	15
3. 2. Distribution globale et diversité des espèces de plathelminthes terrestres à l'échelle de l'île.....	19
3. 3. Influence des variables mesurées sur l'abondance des plathelminthes terrestres	22
3. 4. Influence des variables mesurées sur la diversité des plathelminthes terrestres	24
3. 5. Comparaison de l'abondance et de la richesse spécifique des plathelminthes terrestres selon le type d'habitat.....	24
3. 6. Le développement du réseau de sciences participatives et des moyens de communication	25
4. Discussion.....	28
4. 1. Identification et caractérisation des espèces présentes à La Réunion	28
4. 2. La sensibilité des plathelminthes terrestres face aux variations climatiques.....	30

4. 3. Voies d'introduction et de dispersion potentielles des plathelminthes terrestres en milieu naturel	32
4. 4. La recherche active pour la détection des plathelminthes terrestres en milieu naturel	33
4. 5. L'importance du réseau de sciences participatives.....	34
5. Conclusion	35
BIBLIOGRAPHIE	37
ANNEXES.....	46

1. Introduction

Le sol, en tant que substrat essentiel pour la vie, représente un vaste réservoir de biodiversité, pourtant encore largement méconnu (Nielsen et *al.*, 2015). Les plathelminthes terrestres (Plathelminthes : Geoplanidae), communément désignés sous le nom de « vers plats », ont colonisé cet habitat il y a plusieurs millions d'années (Sluys, 2019). Tandis que les plathelminthes aquatiques ont été largement étudiés en tant que bio-indicateurs de la qualité de l'eau (Ding et *al.*, 2019 ; Liu et *al.*, 2021) et les plathelminthes parasites tels que le ténia, pour leurs impacts directs sur la santé humaine (Rahantamalala et *al.*, 2016), les plathelminthes terrestres demeurent quant à eux, encore peu étudiés à l'échelle mondiale (Justine et *al.*, 2018 ; Winsor et *al.*, 2004). Néanmoins, cette famille englobe plus de 900 espèces, présentant une large diversité biologique et écologique (Sluys, 2019).

Leur taille peut varier considérablement, allant de quelques centimètres (*Rhynchodemus* spp. Leidy, 1851) au mètre (*Bipalium nobile* Kawakatsu & Makino, 1982). De même, le nombre de leurs yeux peut osciller d'une paire unique (*Dolichoplana striata* Moseley, 1877) à des centaines (*Parakontikia ventrolineata* Dendy, 1892) (Winsor, 2003). Les plathelminthes terrestres sont hermaphrodites, bien que leur mode de reproduction puisse différer. Certaines espèces, telles que *Bipalium kewense*, produisent des cocons renfermant des centaines d'embryons à la suite d'une reproduction sexuée dans leur aire d'origine, tandis que dans les zones où elles ont été introduites, elles adoptent une stratégie de reproduction asexuée, par scissiparité (Winsor, 1983; Justine et *al.*, 2022a). Par ailleurs, ne possédant pas de mécanisme de rétention d'eau, les plathelminthes terrestres manifestent une sensibilité particulière aux variations du taux d'humidité atmosphérique (Sluys, 1998). Dans des environnements diurnes arides, ils se réfugient sous des substrats tels que des roches, du bois mort ou des feuilles, n'émergeant qu'à la nuit tombée, lorsque l'humidité est plus favorable, échappant ainsi souvent à la détection (Froelich, 1955). On retrouve ainsi une grande diversité de ces vers plats dans les milieux pantropicaux comme en Australie (Winsor, 2003), ou encore au Brésil (Negrete, 2014). Cependant, leur introduction dans de nouveaux territoires, tels que l'Europe (Carbayo et *al.* 2016a, Justine et *al.*, 2018) ou l'Amérique du Nord (Ducey & Noce, 1998), a également pu être favorisée par la mondialisation croissante. En effet, selon Justine et *al.* (2014) et Sluys (2016),

leur transport serait principalement dû au commerce de plantes, trouvant refuge sous les pots de celles-ci. En tant que vers carnivores amateurs de vers de terres, de mollusques,

ou autres petits arthropodes, leur impact sur la biodiversité locale ne peut être négligé (Winsor et al., 2004 ; Justine et al., 2014a). Cet impact est d'ailleurs mis en évidence dans certaines régions, comme en Floride où *Platydemus manokwari* s'attaque aux escargots indigènes (Gerlach et al., 2021), en Amérique du Nord où *Bipalium vagum* cible les escargots indigènes et les limaces (Ducey et al., 2007) ou encore en Angleterre, en Irlande et sur les îles Féroé où *Arthurdendyus triangulatus* affecte significativement les populations de vers de terres (Murchie & Gordon, 2013). Selon Murchie & Justine (2021), *Obama nungara* pourrait avoir des impacts similaires à ceux d'*A. triangulatus*. Certaines espèces telles que *B. kewense*, possèdent une toxine paralysante, la tétrodotoxine, leur permettant de s'attaquer à des proies parfois bien plus imposantes qu'eux-mêmes (Stokes et al., 2014). Par ailleurs, aucun prédateur de plathelminthe terrestre n'est encore identifié dans les pays où ils ont été introduits (Murchie & Justine, 2021). Certaines études comme celle de Carbayo et al. (2002) ou encore celle de Baptista & Leal-Zanchet (2010) au Brésil, ont souligné la capacité de ces vers plats à s'adapter à une grande diversité de types de forêts ou d'habitats, qu'ils soient plus ou moins dégradés. Compte tenu de leur position de prédateurs majeurs au sein des écosystèmes terrestres (Murchie & Justine, 2021) et de leur remarquable capacité d'adaptation, il semble alors impératif d'approfondir notre connaissance sur les plathelminthes terrestres exotiques.

En France, la présence des plathelminthes terrestres demeurait inconnue avant les années 2000, lorsque le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) de Paris a été alerté par des particuliers de la présence de plusieurs espèces exotiques telles que *B. kewense* ou *O. nungara* sur le territoire. Afin d'identifier et de cartographier ces espèces, une enquête de sciences participatives a été lancée en 2013 sur 5 ans. L'efficacité de cette démarche a été illustrée dans plusieurs études (Justine et al., 2020; Justine et al., 2015 ; Mori et al., 2022). Au vu du nombre de signalements croissants, y compris dans les territoires d'outre-mer, l'Agence de Recherche pour la Biodiversité à La Réunion (ARBRE) a été sollicitée par le MNHN afin de mettre en place un réseau similaire spécifiquement sur le territoire réunionnais, instauré par A. Marie en 2021¹.

¹ <https://arb-reunion.fr/nos-projets/etude-des-plathelminthes-terrestres-reunion/>

L'île de La Réunion se classe parmi les 34 « points chauds » de biodiversité mondiale (Myers et *al.* 2000 ; Mittermeier et *al.* 2005). Au sein des invertébrés, on compte près de 850 espèces endémiques et indigènes (Rochat, 2008). La récente étude de Legros et *al.* (2020) recense plus de 3300 espèces d'arthropodes parmi lesquelles 31% sont endémiques de l'île et 40% sont endémiques des Mascareignes. Concernant les mollusques terrestres, on retrouve également plus de 50 espèces indigènes dont 80% sont endémiques de l'île ou des Mascareignes (Griffiths & Florens, 2006). A partir de l'arrivée de l'homme en 1638 et des débarquements successifs, de nombreux habitats ont été détruits et de plus en plus d'espèces ont été introduites (Thébaud et *al.* 2009). On ne compte aujourd'hui plus qu'un tiers d'habitats naturels (Strasberg et *al.*, 2005) et plus de 60 espèces animales exotiques - introduites par l'homme de manière volontaire ou non - dont près de la moitié représentent une menace directe pour la biodiversité, les classant comme espèces envahissantes (DEAL Réunion, 2012). Désormais, 22 % des espèces animales indigènes de l'île de La Réunion sont considérées comme menacées d'extinction (IUCN, 2010). Les espaces naturels de La Réunion constituent un refuge essentiel pour la biodiversité locale, notamment en ce qui concerne les arthropodes (Gasnier, 2005) et les mollusques (Griffiths & Florens, 2006).

En l'espace de trois années après le lancement du réseau de sciences participatives, une dizaine d'espèces de plathelminthes terrestres exotiques ont été détectées à travers l'île (Figure 1). Bien que quelques observations en milieu naturel appuient leur présence dans ces habitats, la plupart des signalements des particuliers provient de milieux anthropisés tels que les jardins et les parcs aménagés. Certaines espèces telles que *O. nungara* et *Bipalium* sp., ont déjà été recensées dans des Espaces Naturels Sensibles dans la Forêt de Notre Dame de la Paix (Le Tampon) et Sans Soucis (Saint-Paul). Des comportements de prédation en milieu naturel ont déjà été signalés, tels que *B. kewense* sur des vers de terre ou encore *B. vagum* sur un escargot endémique Réunion-Maurice : *Omphalotropis* sp. (Huet & Tamon, com. pers ; Figure 2). Il n'est alors pas exclu que d'autres espèces indigènes puissent être vulnérables à la présence des plathelminthes terrestres exotiques. Pourtant, malgré ces constats, aucune étude sur les plathelminthes terrestres n'a encore été menée au sein des espaces naturels de La Réunion.

Face à la multiplication de signalements de plathelminthes terrestres exotiques à l'échelle mondiale (Justine et *al.*, 2014a), leur régime alimentaire carnivore (Ogren, 1995), leurs stratégies de reproduction variées (Winsor, 1983; Justine et *al.*, 2018), ou encore les cas de prédation recensés sur l'île (Huet & Tamon, com. pers.), il est crucial d'approfondir notre connaissance sur l'étendue de leur répartition sur le territoire réunionnais.

Afin d'appréhender la distribution de ces espèces et de guider d'éventuels plans de conservation et de contrôle si nécessaire, il est impératif de comprendre dans un premier temps quels facteurs influencent la richesse spécifique et l'abondance des plathelminthes terrestres au sein des espaces naturels protégés (Parc National, ENS) de La Réunion.

Dans la continuité de l'étude de sciences participatives, la présente étude vise à (i) réaliser un inventaire des espèces de plathelminthes terrestres à travers différents milieux naturels de La Réunion, afin de (ii) comprendre quelles sont les variables qui influencent la structure des communautés de plathelminthes terrestres tout en (iii) poursuivant le volet de sensibilisation initié en 2021. Afin de mieux comprendre la structure de ces communautés, il est supposé que : (1) les plathelminthes terrestres seraient présents jusque dans les espaces naturels protégés et que (2) leur abondance et leur diversité seraient impactées par des facteurs environnementaux et anthropiques.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la politique de prévention d'introduction, de détection précoce et de suivi de la propagation des Espèces Exotiques Envahissantes Animales (EEEA) menée par le Parc National de La Réunion, organisme co-financeur de ce stage. Il s'agit d'une étude d'écologie des communautés de plathelminthes terrestres à La Réunion visant à mieux comprendre ces espèces et leur distribution tout en y intégrant un volet de sensibilisation du public.

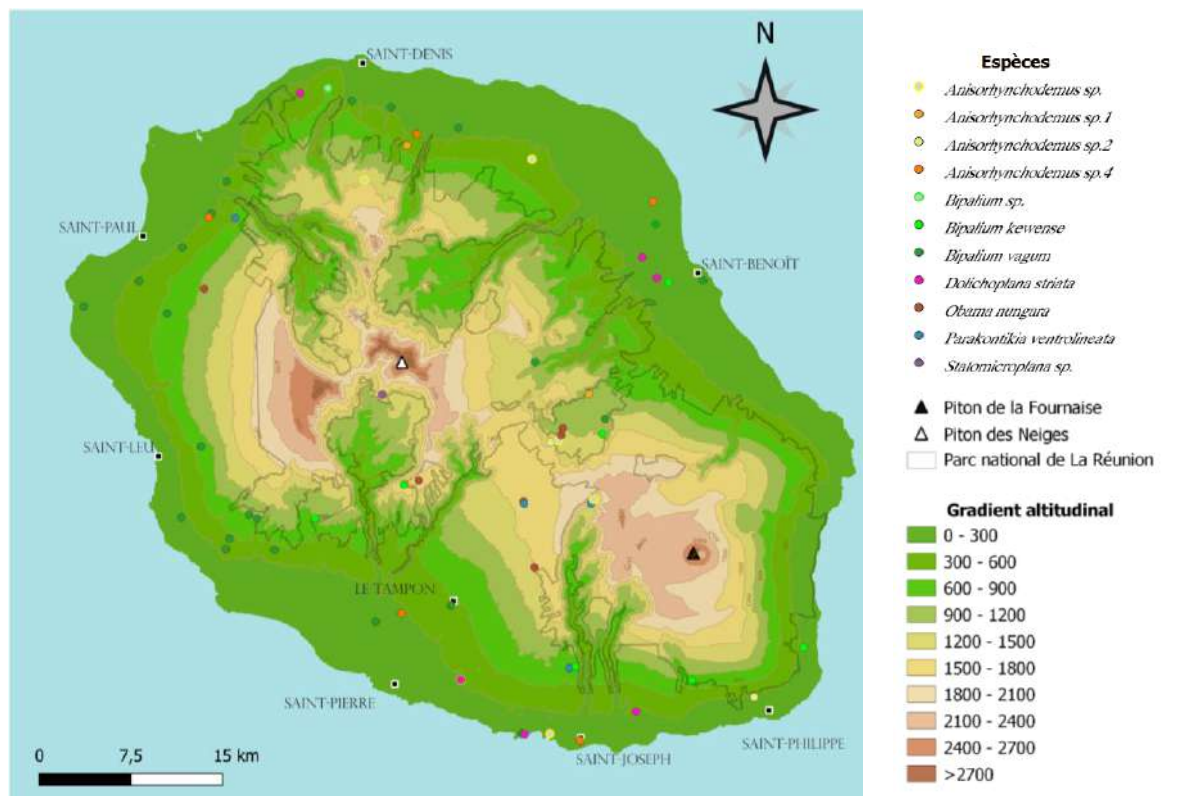


Figure 1 : Répartition des observations ponctuelles de différentes espèces de plathelminthes terrestres à La Réunion provenant de la base de données du réseau de sciences participatives de l'Agence de Recherche pour la Biodiversité à La Réunion, Mai 2024.

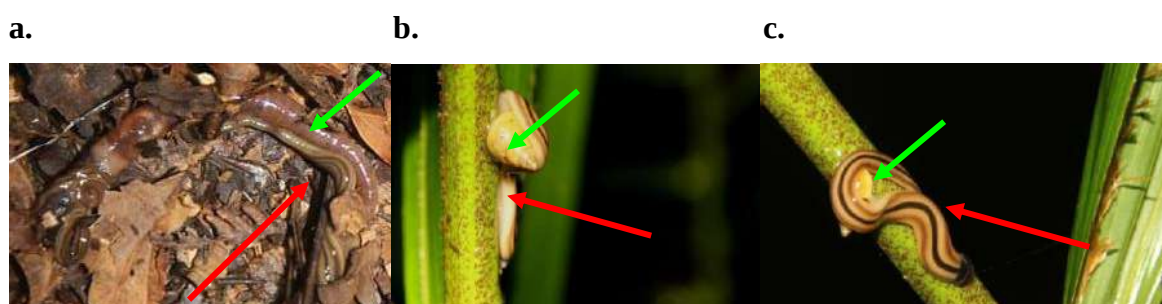


Figure 2 : Comportements de prédation de (a) *Bipalium kewense* (flèche rouge) sur un ver de terre (flèche verte) et (b,c) *Bipalium vagum* (flèche rouge) sur un mollusque indigène de La Réunion, *Omphalotropis* sp. (flèche verte). Crédit photos : J-M. Tamon.

2. Matériel et méthodes

2. 1. Espèces étudiées

L'embranchement des plathelminthes terrestres (Platyhelminthes, Tricladida, Geoplanidae Stimpson, 1857) recense plus de 900 espèces (Sluys, 2019), réparties en 4 sous-familles : Bipaliinae Stimpson, 1857, Geoplaninae Stimpson, 1857, Microplaninae Pantin, 1853, et Rhynchodeminae Graff, 1896 (composée de 5 tribus : Eudoxiatoplanini, Pelmatoplanini, Anzoplanini, Rhynchodemini et Caenoplanini), et 62 genres (selon EOL Dynamic Hierarchy, 2022). Les Geoplaninae et les Bipaliinae prédominent en région néotropicale tandis que les Microplaninae et les Rhynchodeminae présentent une répartition cosmopolite (Figure 3).

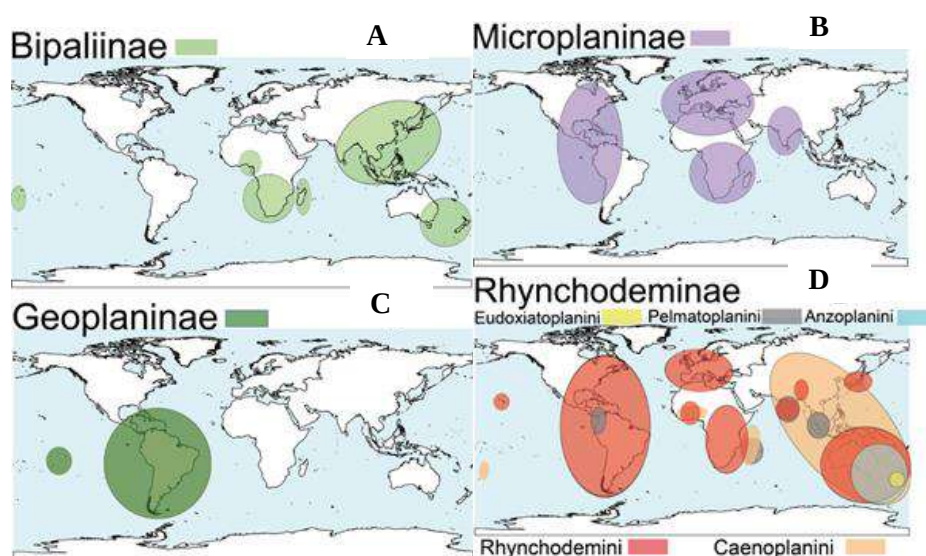


Figure 3 : Distribution mondiale des Geoplanidae par sous-famille : A. Bipaliinae ; B. Microplaninae ; C. Geoplaninae ; D. Rhynchodeminae composée de 5 tribus : Eudoxiatoplanini, Pelmatoplanini, Anzoplanini, Rhynchodemini et Caenoplanini. Tiré de Álvarez-Presas et *al.* (2014) à partir des données de <http://turbellaria.umaine.edu>

2.2. Sites d'étude

2.2.1. L'île de La Réunion

La Réunion (21°S ; 55°E) est une île volcanique tropicale du Sud-Ouest de l'océan Indien émergée d'un point chaud il y a environ trois millions d'années (Middleton & Burney, 2013).

Elle est la plus jeune île de l'archipel des Mascareignes (Maurice, Rodrigues, La Réunion), occupant une surface d'environ 2512 km². Son plus haut sommet, Le Piton des Neiges, culmine sur l'océan Indien à 3069 m d'altitude, suivi par son volcan toujours en activité, le Piton de La Fournaise (2631 m). L'île est soumise à un climat tropical humide saisonnier, caractérisé par un été austral chaud et humide de novembre à avril, ainsi qu'un hiver austral froid et sec de mai à octobre. Les températures annuelles moyennes varient de 24°C dans les bas de l'Ouest de l'île à 12°C en haute altitude (Météo France, 2021a, b). Deux versants aux régimes de précipitations contrastés se distinguent : la partie Ouest “sous le vent” avec 1 m de pluie par an en moyenne sur la côte Sud-Ouest et la partie Est “au vent” avec jusqu'à 8 m dans les hauteurs et 3 m sur la côte (Barcelo, 1996). La végétation, quant à elle, est structurée par un gradient d'altitude et de pluviométrie (Cadet 1980 ; Figure 4).

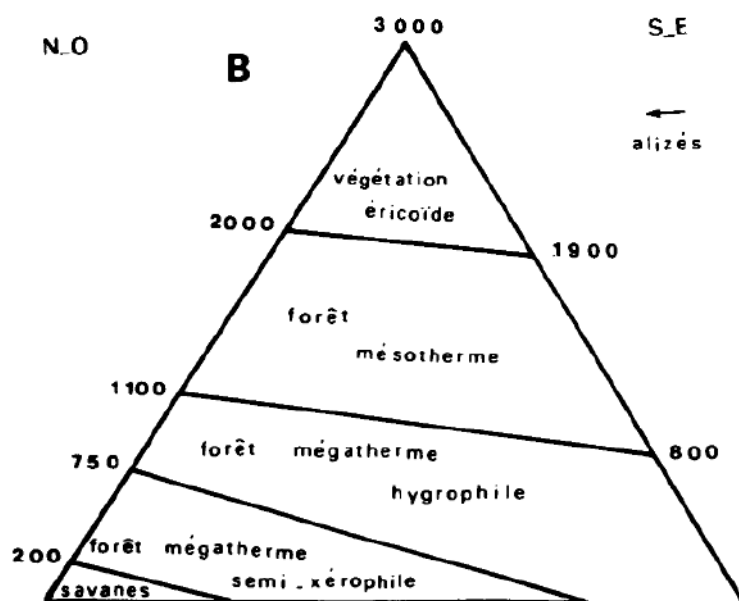


Figure 4 : Étagement théorique de la végétation naturelle réunionnaise le long d'un gradient altitudinal selon Cadet (1980).

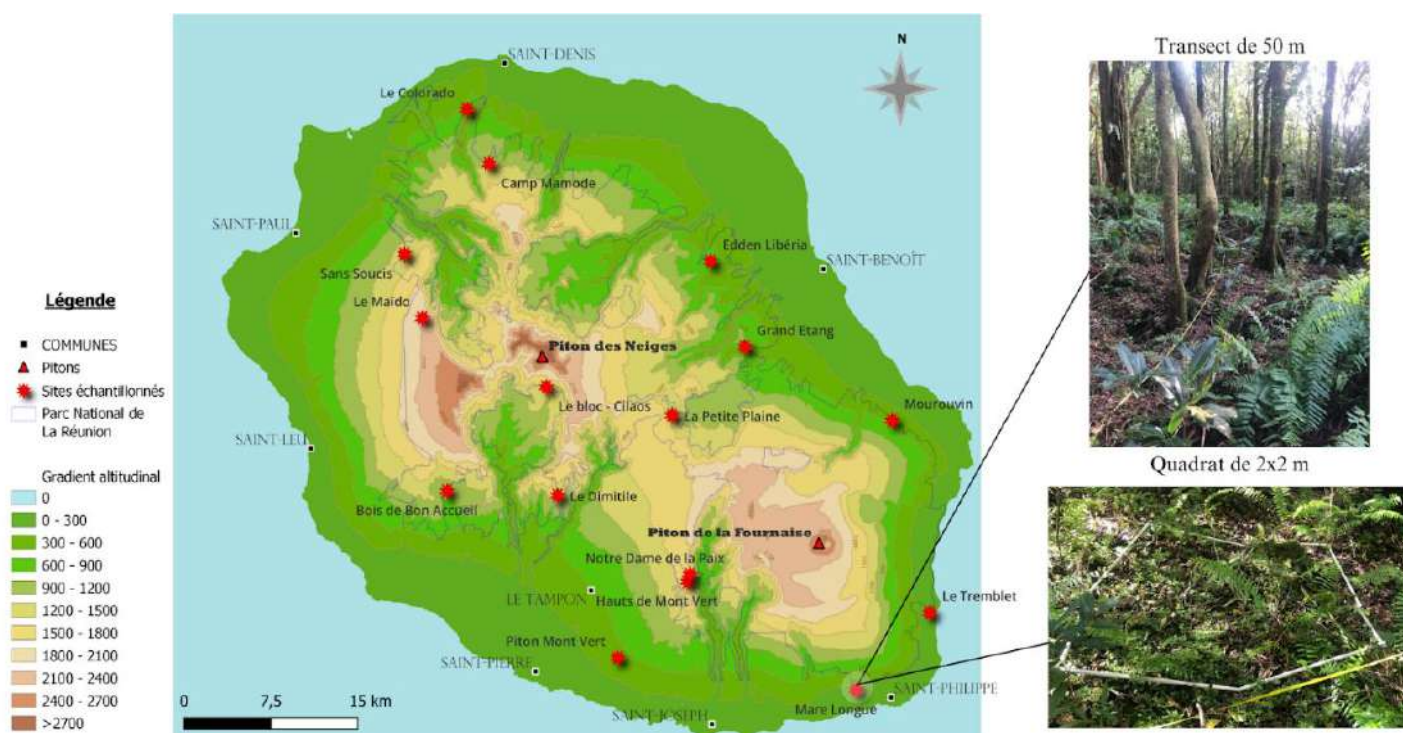


Figure 5 : Localisation des 16 sites d'étude échantillonnés à La Réunion entre février et avril 2024 et zoom sur un transect et un quadrat type disposés dans la forêt de Mare Longue.

2.2.2. Description des sites choisis

Afin de couvrir un large échantillonnage sur l'île de La Réunion en tant que première étude de ce type à La Réunion, 16 sites ont été visités entre février et avril 2024 (Figure 5). En accord avec les objectifs préalablement fixés dans cette étude, ces sites sont compris au sein du Parc National de La Réunion et/ou classés Espaces Naturels Sensibles. La sélection de ces sites vise également à couvrir une diversité en termes d'altitude (de 238 à 2076 m), de type de végétation (altimontaine, mésotherme hygrophile, mégatherme hygrophile, semi-xérophile ; illustrés Figure 4 et décrits en Annexe 1), ou encore différentes orientations de l'île (Nord, Sud, Est, Ouest). L'ensemble des critères associés à ces différents sites sont disponibles en Annexe 2.

2. 3. Déroulé du protocole d'échantillonnage en milieu naturel

Au sein de chaque site, trois transects de 50 m géolocalisés (IGNrando, Ubicarta S.A.S., version 1.48) ont été mis en place, sur lesquels cinq quadrats de 2 x 2 m ont été placés comme illustré en Figures 5 et 6. Afin de déterminer si l'on retrouve une abondance et une richesse spécifique plus élevées au sein de forêts entièrement plantées par l'homme, des transects ont été positionnés dans des forêts de *Cryptomeria japonica* (FP), si présente sur le site visité. C'est

le cas des sites de Notre Dame de La Paix, Hauts de Mont Vert, Sans Soucis, Petite Plaine, Camp Mamode et de Cilaos. Les autres transects sont compris dans des forêt conservée (FC) indigène (Figure 6).

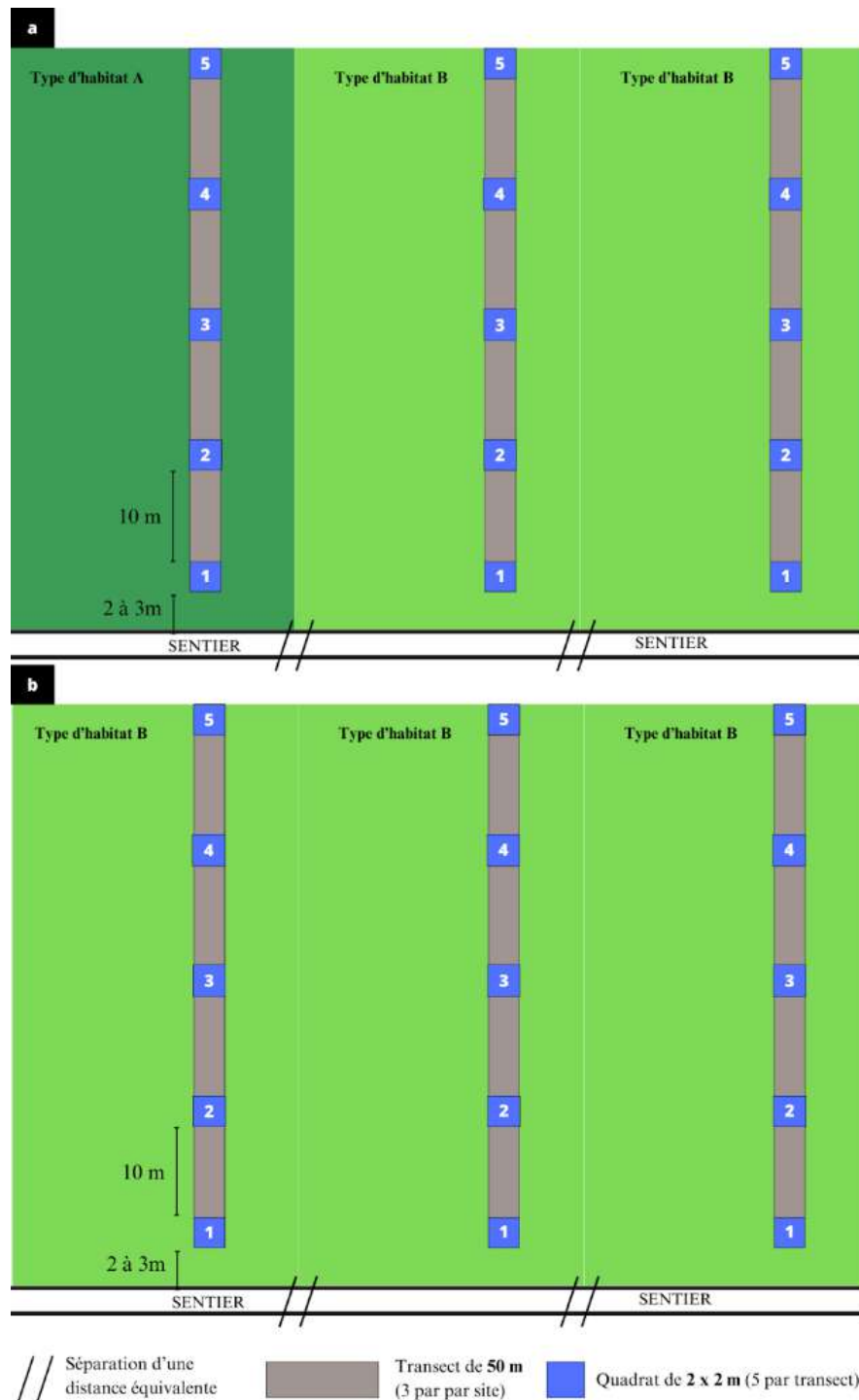


Figure 6 : Design expérimental du protocole réalisé sur les 16 sites visités selon si (a) il y a une parcelle de boisement de cryptomérias plantés (FP ; 6 des 16 sites) ; ou (b) seulement des habitats conservés (FC ; 10 des 16 sites).

Plusieurs études ont employé la méthode de recherche active pour échantillonner les plathelminthes terrestres en forêt tropicale, notamment en Argentine et au Brésil (Baptista &

Leal-Zanchet, 2010 ; Cabayo et *al.*, 2016b ; Fonseca et *al.*, 2009). Dans cette étude, les individus ont été recherchés activement par une personne durant une 10 minutes par quadrat, au sol et sous les substrats posés sous lesquels ils se réfugient en journée : pierres, feuilles ou branches (Froelich, 1955). Chaque individu observé a été collecté vivant dans un tube à fond conique de 50 mL avec de la litière humide, et conservé au frais afin de le maintenir dans un milieu favorable avant identification (Noel & Gros, 2015).

2.4. Définitions des variables mesurées

2.4.1. Données climatiques

Compte tenu de la sensibilité des plathelminthes terrestres vis-à-vis des variations climatiques (Boag et *al.*, 1998 ; Froelich, 1955), des mesures de la température et de l'humidité relative de l'air ambiant ont été réalisées à l'aide d'un thermo-hygromètre (H560 DewPoint Pro, Dostmann electronic GmbH, Wertheim-Reicholzheim, Germany), d'une précision de 0.1°C et 0.1% d'humidité. La température et l'humidité du sol ont été obtenues grâce à un thermo-hygromètre à sondes intégrées (HumidCheck Pro, Dostmann electronic GmbH, Wertheim-Reicholzheim, Germany) d'une précision de 0.1°C et 0.1% d'humidité. Ces mesures ont été moyennées sur 3 points au sein des quadrats afin de capturer la variabilité climatique instantanée à l'échelle des observations réalisées. D'autres caractéristiques environnementales

ont été prises en compte de manière semi-quantitative : le temps (couvert, partiellement couvert ou dégagé), l'ouverture de la canopée (ouverte, partiellement ouverte ou dense) et la pluie (nulle, faible ou forte).

2.4.2. Mesures de recouvrement et caractérisation de l'habitat

Sur l'ensemble des sites le recouvrement du sol à l'échelle des quadrats a été estimé visuellement par un observateur unique selon différentes catégories (végétation, litière, roche, cryptogame, sol nu) en pourcentage. La végétation dominante (supérieure à 50% de couverture) a été décrite au niveau de l'espèce pour les angiospermes herbacées dont l'identification précise a été possible (vérification par Plant-Net si nécessaire), ou par type "mousses", "fougères" et "plantules" pour les plantules diverses d'espèces ligneuses.

2.5. Identification des espèces

Au laboratoire, les individus ont été photographiés à l'aide d'une loupe binoculaire (NOVEX - Holland, modèle 50.931). Des spécialistes tels que L. Winsor (chercheur spécialiste des plathelminthes terrestres en Australie), N. Huet (conseil scientifique d'ARBRE et naturaliste aguerri) et J-L. Justine (MNHN) ont été sollicités pour les identifications lorsque cela a été nécessaire. Les individus classés comme non identifiables (N=4 sur 545 individus prélevés sur le terrain au total) sont des plathelminthes terrestres dont l'état trop dégradé ne permettait pas l'identification et ont été écartés de l'analyse. L'ensemble des individus a ensuite été mis en alcool à 90° afin de conserver leur ADN de manière optimale (Justine et *al.*, 2020), pour de futures études biologiques et génétiques en partenariat avec le MNHN. Ces données seront nécessaires pour des identifications plus précises, comme ça a été le cas dans plusieurs études (Justine et *al.*, 2022b ; Almeida et *al.*, 2022 ; Negrete et *al.*, 2020). Elles pourront également servir à des études visant à mieux comprendre les origines géographiques des plathelminthes terrestres introduits telles que celle de Robert et *al.* (2020) sur *Arthurdendyus triangulatus*. Enfin, des analyses histologiques de l'appareil reproducteur seront indispensables pour distinguer les espèces classées provisoirement dans le genre *Anisorynchodemus* (famille des Rhynchodeminae). A titre d'exemple, 41% des espèces de Rhynchodeminae sont décrites seulement par des critères de morphologie externe (Kawakatsu et *al.*, 2003).

2. 6. Analyses statistiques

2.6.1. Modélisation des variables mesurées sur l'abondance des plathelminthes terrestres

L'abondance totale, toutes espèces confondues, a été prise en compte dans cette analyse. L'emploi d'un modèle additif mixte généralisé (fonction "gamm4" du package "gamm4") a permis de prendre en compte la non linéarité des relations observées graphiquement avec les variables environnementales descriptives, en particulier la température du sol. D'autre part, les différents sites et transects au sein de ces sites, ont été pris en compte en tant qu'effets aléatoires emboîtés dans ce modèle en considérant les quadrats comme des pseudo-réplicats. L'objectif étant de minimiser la corrélation des données au sein de ces unités partageant des similitudes environnementales fortes. L'homogénéité des variances résiduelles, ainsi que l'absence de

structure dans les résidus ont été vérifiées graphiquement à l'aide de la fonction “check_model” du package “performance”.

Parmi l'ensemble des variables environnementales mesurées sur le terrain, certaines ont été retirées de l'analyse pour leur faible variabilité (temps, pluie, canopée) ou leur corrélation avec d'autres facteurs mesurés. C'est le cas du recouvrement en cryptogames, fortement corrélé à celui des roches se trouvant principalement à leur surface. La température et l'humidité de l'air, étant significativement corrélées à celles du sol, ont été retirées de l'analyse afin de conserver les plus adaptées à l'échelle des organismes étudiés. La température du sol est également fortement corrélée à l'altitude que l'on a retirée de l'analyse (cf table de corrélation Annexe 3).

2.6.2. Modélisation des variables mesurées sur la diversité des plathelminthes terrestres

Un modèle identique (§2.6.1) a été réalisé pour mesurer l'impact de ces mêmes variables sur la richesse spécifique des plathelminthes terrestres au sein des sites d'étude.

2. 6. 3. Analyse de l'abondance et de la richesse spécifique des plathelminthes terrestres au sein de différents types de forêts.

Plusieurs études soutiennent que les plathelminthes terrestres exotiques sont principalement arrivés par le commerce de plantes (Sluys, 2016). Les boisements de *Cryptomeria japonica* à La Réunion sont dus à des plantations humaines successives dans les années 1960-1980 et ont été sélectionnés dans cette étude afin de voir s'il s'agissait d'un facteur déterminant pour la structure des communautés de plathelminthes terrestres à La Réunion. Sur 6 des 16 sites où l'on en retrouvait (Notre Dame de la Paix, les Hauts de Mont Vert, Camp Mamode, la Petite Plaine, Sans Soucis et Cilaos), un transect dans un de ces boisements a été réalisé. Un test non paramétrique de Wilcoxon a été réalisé entre les groupes de transects en forêt plantée (FP) et en forêt conservée (FC).

3. Résultats

3. 1. Les différentes espèces identifiées au sein des espaces protégés

A La Réunion, on compte 15 espèces de plathelminthes terrestres (selon ARBRE, 2024 et les données de cette présente étude) réparties dans quatre sous-familles et dont la plupart sont exotiques (Table 1).

Quatres morpho-espèces de la famille des Rhynchodeminae sont identifiées au stade de genre *Anisorhynchodemus* (Kawakatsu et al., 2003) et distinguées, en l'attente de données moléculaires avancées, selon les critères morphologiques de L. Winsor (n.p.) : *Anisorhynchodemus* sp. cf *A. tristis* (nommée ici *Anisorhynchodemus* sp.1), *Anisorhynchodemus* cf *A. nematoides* (nommée ici *Anisorhynchodemus* sp.2), une espèce encore jamais décrite dans le monde (nommée ici *Anisorhynchodemus* sp.3), *Anisorhynchodemus* sp. type “red pale head” (nommée ici *Anisorhynchodemus* sp.4). De la même manière, une espèce du genre *Kontikia* (Froehlich, 1955) est nommée provisoirement *Kontikia* sp. (Rhynchodeminae, Caenoplanini) et deux dernières, distinguées au genre de *Statomicroplana* sp.1 et 2 (Kawakatsu et al., 2003 ; Microplaninae).

Douze d’entre elles ont été identifiées dans cette étude (Table 2). Ces espèces sont exotiques ou cryptogènes, c’est-à-dire que l’on ne connaît pas encore leur statut à La Réunion. Les différents critères de différenciations morphologiques associées sont disponibles en Annexe 4. Au cours de cette étude, une espèce, *Dolichoplana carvalhoi* a été détectée pour la première fois à La Réunion (Le Dimitile, 1135 m d’altitude) et une espèce observée au Tremblet (115 m d’altitude), nommée *Anisorhynchodemus* sp.3, n’aurait encore jamais été observée ailleurs dans le monde. Mis à part cette dernière, dont l’origine est inconnue, l’ensemble des espèces trouvées sont exotiques.

Table 1 : Les 15 espèces et morpho-espèces de plathelminthes terrestres identifiées à La Réunion, leurs origines et leurs statuts.

Sous familles et espèces de Geoplanidae de La Réunion	Origine	Statut	Source
Sous famille Bipaliinae			
<i>Bipalium kewense</i> Moseley, 1878	Asie du sud	Exotique	Justine et al. (2018)
<i>Bipalium vagum</i> Jones & Sterrer, 2005	Asie	Exotique	Justine et al. (2018)
Sous famille Geoplaninae			
<i>Obama nungara</i> Carbayo et al., 2016	Brésil	Exotique	Carbayo et al. (2016a)
Sous famille Rhynchodeminae			
Tribu Caenoplanini			
<i>Caenoplana coerulea</i> Moseley, 1877	Australie	Exotique	Justine et al. (2014)
<i>Parakontikia ventrolineata</i> Dendy, 1892	Australie	Exotique	Justine et al. (2014)
<i>Kontikia</i> sp. Froehlich, 1955	Inconnue	Exotique	
Tribu Rhynchodemini			
<i>Dolichoplana carvalhoi</i> Correa, 1947	Indonésie ou Brésil	Exotique	Alvarez & Almeida (2007)
<i>Dolichoplana striata</i> Moseley, 1877	Indonésie	Exotique	Brown et al. (2022)
<i>Rhynchodemus sylvaticus</i> Leidy, 1851	Europe ou Amérique du Sud	Exotique	Ogren (1989)
<i>Anisorhynchodemus sp1</i> Kawakatsu et al., 2003	Inconnue	Exotique	
<i>Anisorhynchodemus sp2</i> Kawakatsu et al., 2003	Inconnue	Exotique	
<i>Anisorhynchodemus sp3</i> Kawakatsu et al., 2003	Inconnue	Cryptogène	
<i>Anisorhynchodemus sp4</i> Kawakatsu et al., 2003	Inconnue	Exotique	
Sous famille Microplanidae			
<i>StratOMICROPLANA sp1</i> Kawakatsu et al., 2003	Inconnue	Cryptogène	
<i>StratOMICROPLANA sp2</i> Kawakatsu et al., 2003	Inconnue	Cryptogène	

Table 2 : Photographies des 12 espèces échantillonnées au cours de cette étude (vue dorsale, ventrale et céphalique), ainsi qu'une prise de vue avec échelle. Photographies réalisées grâce à un Olympus TG7 (Crédit : R. Pasco, sauf précision mentionnée par un crédit pour l'espèce *C. coerulea* dont l'unique individu est mort au retour du terrain).

Sous familles et espèces de Geoplanidae	Prise de vue			
	Dorsale	Ventrale	Céphalique	Echelle
Sous famille Bipaliinae				
<i>Bipalium kevense</i>				
<i>Bipalium vagum</i>				
Sous famille Geoplaninae				
<i>Obama mungara</i>				
Sous famille Rhynchodeminae				
Tribu Caenoplanini				
<i>Caenoplanea coerulea</i>	 © P. Gros	 © P. Gros	 © P. Gros	 © T. Artois 1 cm
<i>Parakontikia ventrolineta</i>				
<i>Kontikia insularis</i>				
Tribu Rhynchodemini				
<i>Dolichoplanea carvalhoi</i>				
<i>Dolichoplanea striata</i>				
<i>Rhynchodemus sylvaticus</i>				
<i>Anisorhynchodemus sp1</i>				
<i>Anisorhynchodemus sp2</i>				
<i>Anisorhynchodemus sp3</i>				

3. 2. Distribution globale et diversité des espèces de plathelminthes terrestres à l'échelle de l'île

Les plathelminthes terrestres sont répartis sur une grande partie du territoire réunionnais (Figure 7). Au total, 545 individus, toutes espèces confondues, ont été récoltés sur le terrain. Leur présence a été détectée sur 15 des 16 sites échantillonnés. Le site de Piton Mont Vert est l'unique site où aucun individu n'a été recensé. Le site où le plus grand nombre d'individus a été trouvé est celui de la forêt du Dimitile (N=113 ; Annexe 5a) et le site où le plus grand nombre d'espèces a été trouvé est celui de la forêt de Mourouvin (N=6, Annexe 5b) ; le plus faible étant au Maïdo (N=1, Annexe 5b).

Parmi l'ensemble des individus identifiés en milieu naturel sur le terrain, 71,3% correspondent à *P. ventrolineata* (N=380, Figure 8). Les autres espèces fréquemment retrouvées sont *Anisorhynchodemus* sp.1 (7.5%), *Obama nungara* (6%), *Kontikia* sp. (4.7%), *Bipalium vagum* (3.2%) et *Bipalium kewense* (2.8%). Les espèces restantes (*Anisorhynchodemus* sp.2, *Anisorhynchodemus* sp.3, *Dolicoplana striata*, *Dolichoplana carvalhoi*, *Rhynchodemus sylvaticus* et *Caenoplana coerulea*) échantillonnées moins de 10 fois sur l'ensemble des sites sont considérées dans cette étude comme "espèces rares". Trois espèces n'ont été échantillonnées que sur un seul des 16 sites : *D. carvalhoi* au Dimitile, *Anisorhynchodemus* sp.3 au Tremblet et *C. coerulea* à la Petite Plaine. D'autres espèces comme celles du genre *Bipalium* ou encore *P. ventrolineata*, présentent une vaste répartition sur le territoire (Figure 7).

On retrouve certaines de ces espèces dans des intervalles d'altitude allant de 80 m (*D. striata* et *Kontikia* sp. ; Forêt du Tremblet) à plus de 2000 m (*P. ventrolineata* ; Le Maïdo), dans des intervalles de température annuelle moyenne allant de 11 (*P. ventrolineata* ; Le Maïdo) à 23°C (*Anisorhynchodemus* sp.2 ; Mare-Longue) ou encore de pluviométrie annuelle moyenne allant de 1900 (*P. ventrolineata* ; Le Maïdo) à plus de 9000 mm (*Bipalium* sp., *Kontikia* sp, *Anisorhynchodemus* sp., *P. ventrolineata*; forêt de Mourouvin).

Malgré une vaste répartition globale sur le territoire, d'importantes variations se confirment en termes d'abondance et de diversité moyenne entre les sites échantillonnés Figure 9a et 9b.

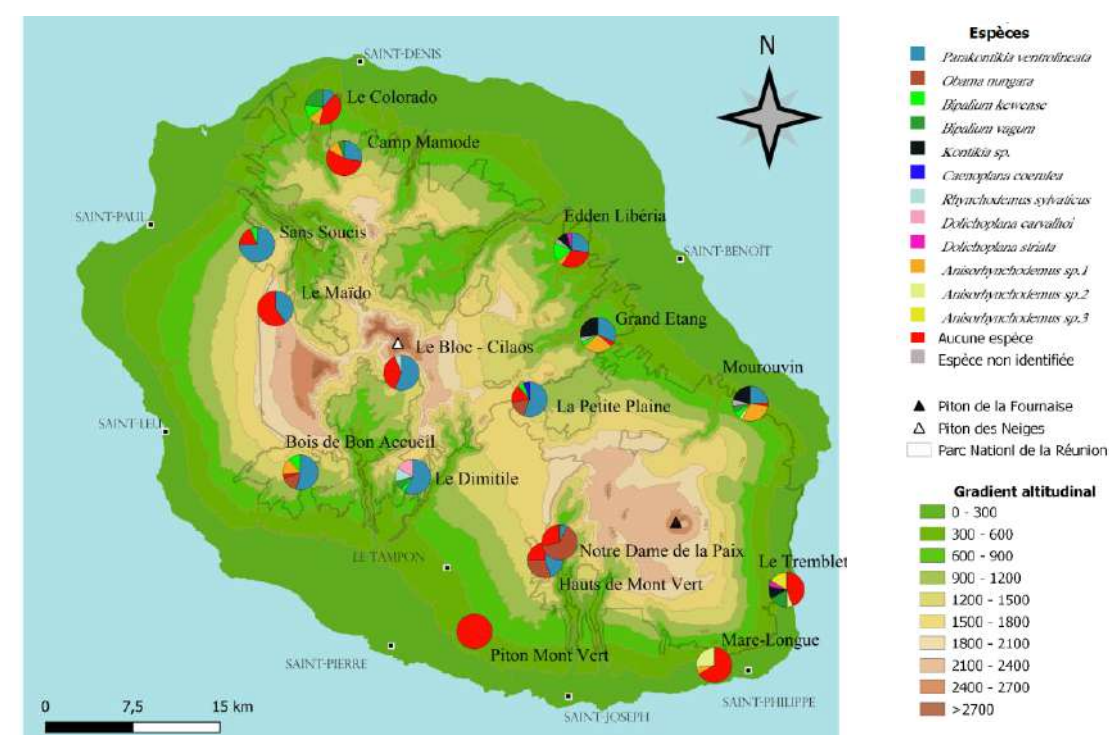


Figure 7 : Proportion d'occupation de chaque espèce de plathelminthe terrestre ou de leur absence (en rouge) par quadrat (N=15) au sein des 16 sites d'étude.

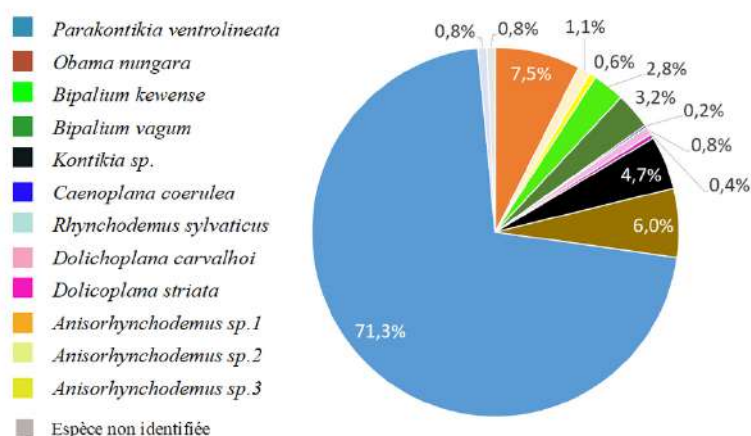
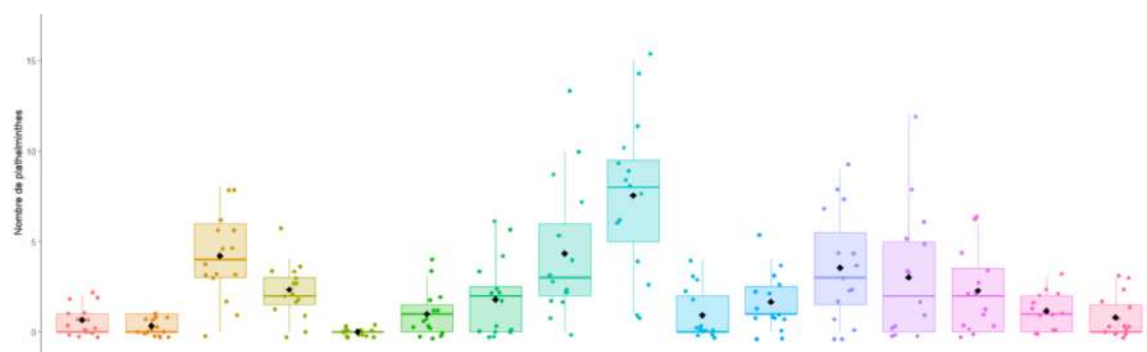
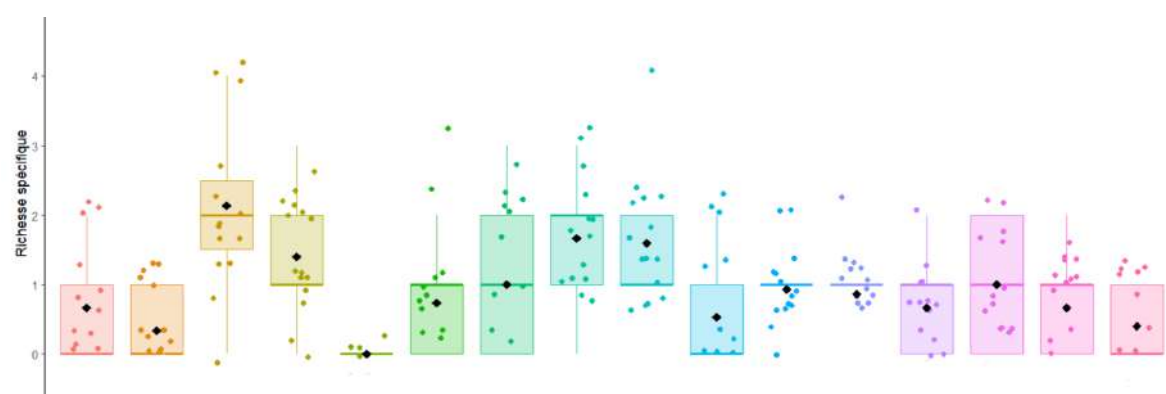


Figure 8 : Proportion des individus de chaque espèce sur le total des plathelminthes terrestres échantillonnés (N=545) sur les 16 sites d'étude entre février et avril 2024 à La Réunion.

a.



b.



Sites

- | | | | |
|---|-------------------------------|---|--|
| ◆ Forêt du Tremblet (115m) | ◆ Piton Mont Vert (576m) | ◆ Forêt du Dimitile (1135m) | ◆ Sentier du Piton des Neiges (1435m) |
| ◆ Sentier botanique de Mare Longue (238m) | ◆ Forêt du Colorado (695m) | ◆ Camp Mamode (1227m) | ◆ Hauts de Mont Vert (1631m) |
| ◆ Forêt Mourouvin (520m) | ◆ Forêt de l'Eden (735m) | ◆ Sentier botanique de la Petite Plaine (1244m) | ◆ Forêt de Notre Dame de la Paix (1707m) |
| ◆ Forêt de Grand Etang (561m) | ◆ Forêt de Bon Accueil (965m) | ◆ Forêt de Sans Soucis (1360m) | ◆ Mado (2076m) |

Figure 9 : Abondance (a) et richesse spécifique observée (b) des plathelminthes terrestres au sein des 16 sites échantillonnés entre février et avril 2024, ordonnés par altitude croissante de gauche à droite sur l'axe des abscisses. La moyenne est représentée par les points noirs.

3. 3. Influence des variables mesurées sur l'abondance des plathelminthes terrestres

Sur l'ensemble des facteurs environnementaux sélectionnés dans le modèle linéaire mixte généralisé, la température ($p < 0.01$) et l'humidité du sol ($p < 0.01$) montrent un impact significatif sur l'abondance des plathelminthes terrestres (Table 3).

Table 3 : Résultats résumés d'une analyse de régression multiple mixte GAMM, testant la relation entre les variables indépendantes (continues : température du sol (effet lissé), humidité du sol, pourcentage de recouvrement en roche, sol nu, litière et végétation ; et catégorielles ordonnées : quadrat) et deux variables dépendantes (abondance et richesse des plathelminthes terrestres). Les facteurs significatifs ($p < 0,01$) sont indiqués en gras avec deux astérisques.

Variables dépendantes						
Variables indépendantes	df	Abondance		Richesse spécifique		
		z	p	z	p	
Humidité du sol	1	3.161	0.00157 **	1.852	0.0641	
Quadrat. L	4	-1.130	0.25866	-1.702	0.0887	
Quadrat. Q	4	1.154	0.24852	-0.090	0.9282	
Quadrat. C	4	0.326	0.74428	-0.146	0.8839	
Quadrat. ^4	4	1.837	0.06627	0.551	0.5819	
Recouvrement en roche	1	-1.563	0.11805	-1.532	0.1256	
Recouvrement en litière	1	-0.804	0.42164	-1.152	0.2494	
Recouvrement en sol nu	1	-0.175	0.86112	-0.739	0.9735	
Recouvrement en végétation	1	-0.897	0.36965	0.033	0.4400	
Variables dépendantes						
Variables indépendantes à effet lissé	edf	Abondance		Richesse spécifique		
		Chi.sq	p	edf	Chi.sq	p
Température du sol	1.724	14.37	0.00545**	2.183	5.071	0.0867

Cette abondance augmente avec le taux d'humidité mesuré au sol (Figure 10a). La température du sol illustre un optimum sur l'abondance aux alentours des 20°C en augmentant de 15°C à ce seuil, puis en diminuant jusqu'à montrer de très faibles effectifs de 25 à 30°C (Figure 10b). Les pourcentages de recouvrement mesurés (roche, litière, sol nu, végétation) n'impactent pas de manière significative cette abondance ($p > 0.05$). Ce modèle ne permet pas non plus de distinguer l'abondance moyenne ($p > 0.05$) ni la richesse spécifique moyenne ($p > 0.05$) des plathelminthes terrestres selon la distance au sentier, illustré par le facteur quadrat ordonné (du quadrat 1 le plus proche au quadrat 5 le plus éloigné) ne traduisant ni tendance linéaire (L), quadratique (Q), cubique (C) ou d'ordre 4 (^4) comme nous pouvons le voir Figure 11.

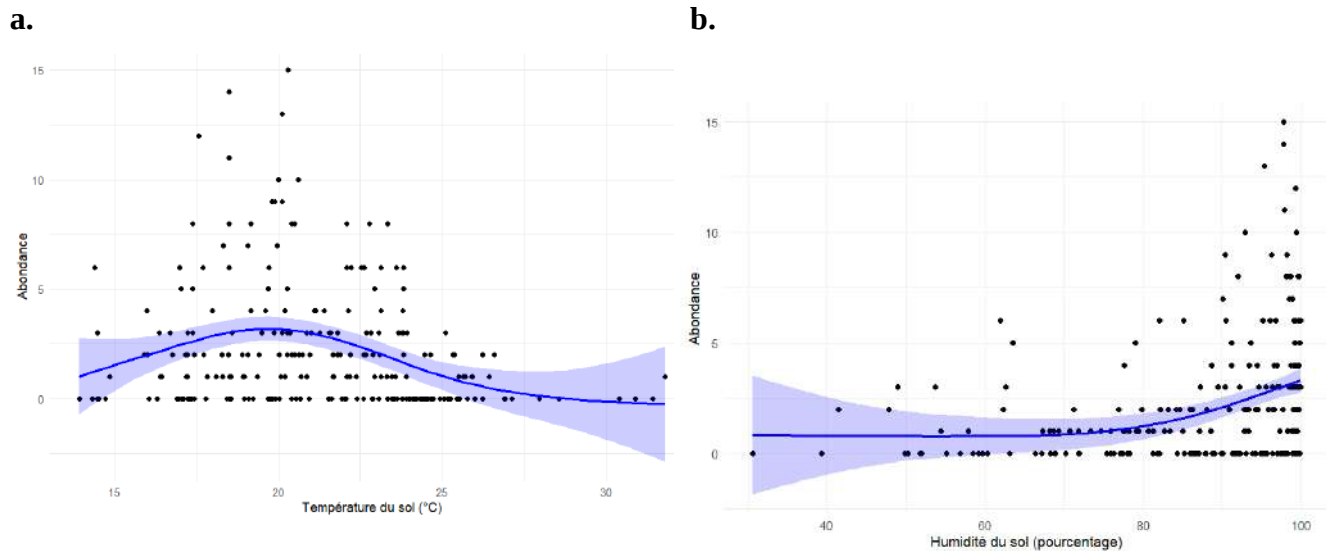
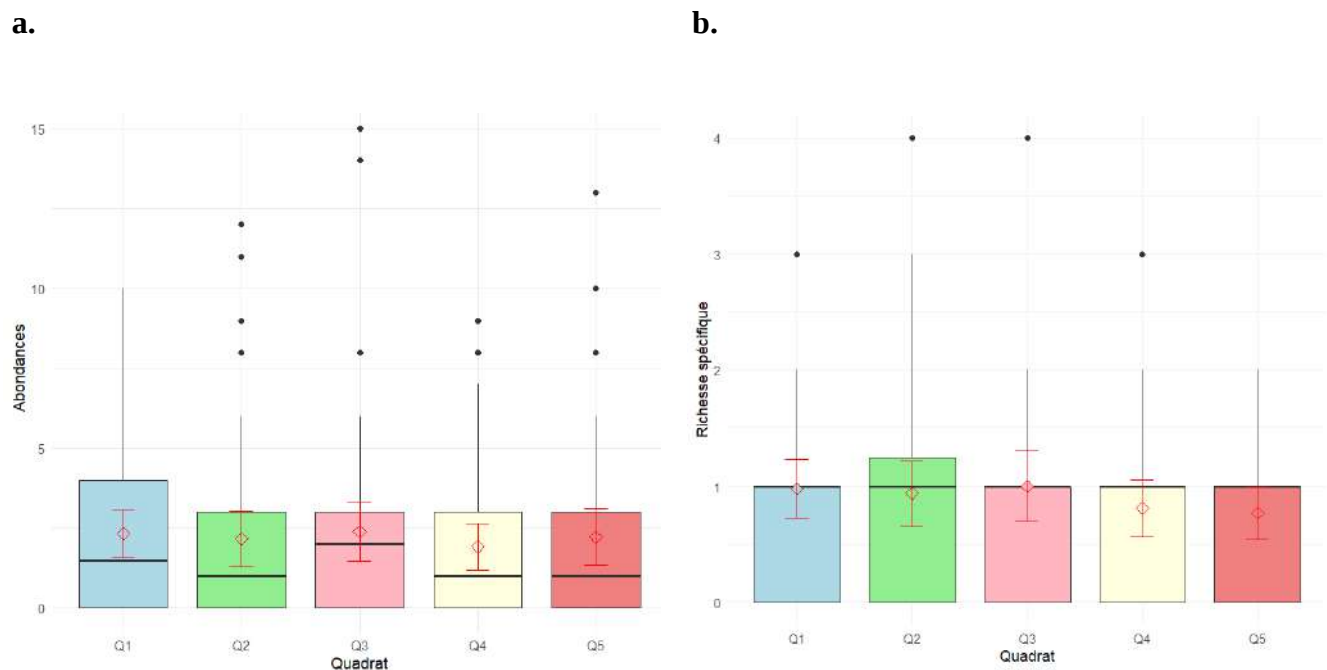


Figure 10 : Variation de l'abondance des plathelminthes terrestres par quadrat selon (a) la température moyenne au sol et (b) l'humidité moyenne au sol avec effet lissé de la fonction représenté par la ligne bleue entourée de son écart-type en bleu clair.



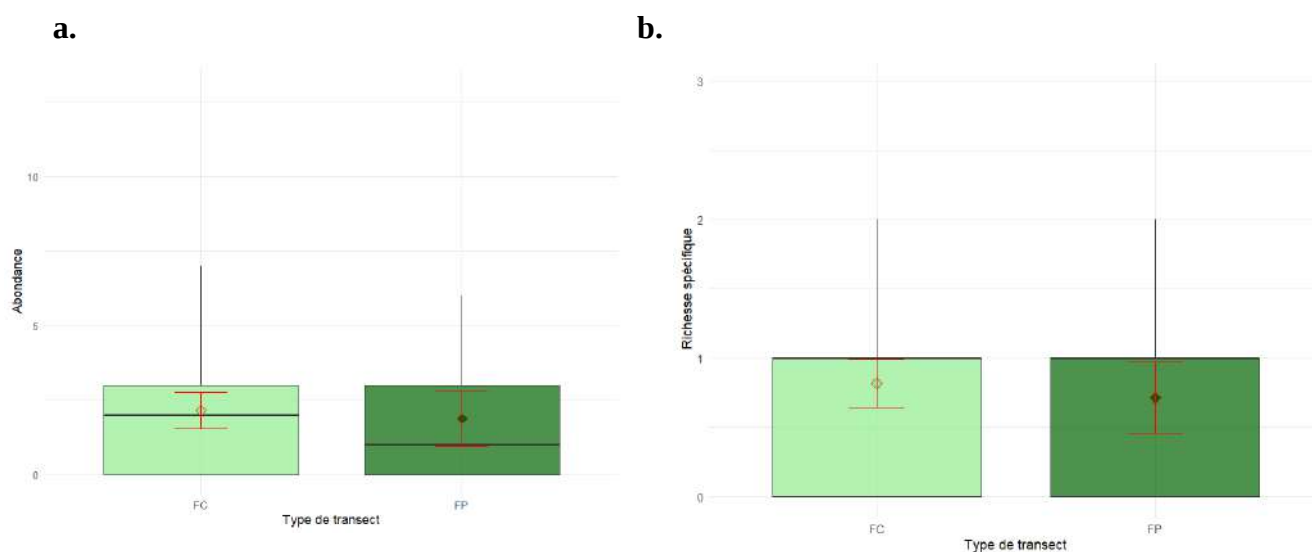
Figures 11 : Abondance (a) et richesse spécifique observée (b) moyenne des plathelminthes terrestres selon la distance au sentier ; de Q1 le plus proche à Q5 le plus éloigné. La moyenne est représentée par les losanges rouges et les écarts types par les barres verticales rouges.

3. 4. Influence des variables mesurées sur la diversité des plathelminthes terrestres

Sur l'ensemble des facteurs environnementaux sélectionnés dans le modèle linéaire mixte généralisé, aucun facteur impacte significativement la richesse spécifique des plathelminthes terrestres sur les sites échantillonnés.

3. 5. Comparaison de l'abondance et de la richesse spécifique des plathelminthes terrestres selon le type d'habitat

Sur les sites de Notre Dame de la Paix, des Hauts de Mont Vert, de Sans Soucis, de Camp Mamode, Petite Plaine et Cilaos où des transects au sein de boisements de *C. japonica* plantés ont été échantillonnés (FP), il n'y a pas de différence significative au seuil $\alpha = 0.05$, ni sur l'abondance totale des plathelminthes terrestres (Test de Kruskal-Wallis, $p = 0.1828$, Figure 12a) ni sur la richesse spécifique (Test de Kruskal-Wallis, $p = 0.4224$, Figure 12b) vis à vis des autres boisements échantillonnés (FC) sur l'ensemble des espèces prélevées.



Figures 12 : Abondance moyenne (a) et richesse spécifique (b) des plathelminthes terrestres selon la zone échantillonnée ; boisement planté (FP) ou non (FC) sur un ensemble de 75 quadrats. La moyenne est représentée par les losanges rouges et les écarts types par les barres verticales rouges.

3. 6. Le développement du réseau de sciences participatives et des moyens de communication

Dans le cadre du programme de sciences participatives, mené en parallèle de cette étude, un formulaire a été mis en ligne (disponible via ce lien :

<https://arb-reunion.fr/nos-projets/etude-des-plathelminthes-terrestres-reunion/>) sur le site de l'Agence de Recherche pour la Biodiversité à La Réunion (ARBRE) afin de recenser les observations. En parallèle, un projet a été créé sur la plateforme I-Naturalist (disponible via ce lien : <https://www.inaturalist.org/projects/plathelminthes-terrestres-de-la-reunion>), afin de pouvoir télécharger les observations recensées sur cette plateforme.

Dans le but d'informer le public du projet de sciences participatives mis en place par l'association ARBRE, et de diffuser le lien vers le formulaire de signalement, un flyer et des clés d'identification d'espèces ont été réalisées et sont disponibles sur le site internet de l'association via le lien cité précédemment. Un financement de la DEAL a également permis l'impression de 400 flyers. Des actions de sensibilisation ont permis de communiquer auprès de divers publics : la communauté scientifique via une présentation orale au séminaire *Gecobio* 2023 organisé par le Parc National de La Réunion, les plus jeunes grâce à des interventions dans un collège (forum des métiers 2024, collège de La Chatoire, Le Tampon) et une école (école Les Platanes, Petite-Île), le grand public avec un stand au Salon de l'écologie organisé par le Département de La Réunion (2023), et enfin les professionnels et notamment les pépiniéristes à l'occasion de visites dans les pépinières.

Les relevés de sciences participatives ont permis de recueillir de nombreux signalements sur la côte Nord-Ouest de l'île (Figure 1). De nombreux signalement (26/80) concernent *B. vagum* sur des terrains privés (Figure 13). L'étude de terrain confirme sa présence au sein des milieux naturels du Nord au Sud de l'île (Figure 7). Trois espèces détectées par le réseau n'ont pas été relevées sur l'étude de terrain, *Anisorhynchodemus* sp.4 et les espèces du genre *Statomicroplana* (Figure 13).

De récentes observations de comportements de prédation de plathelminthes terrestres sur différents invertébrés ont été recensées. Ces comportements rassemblés Table 4 sont issus de signalements sur le groupe Facebook "Naturalistes de La Réunion", d'informations venant d'un

contact direct avec un naturaliste sensibilisé (J-M. Tamon) ou encore d'observations personnelles de terrain.

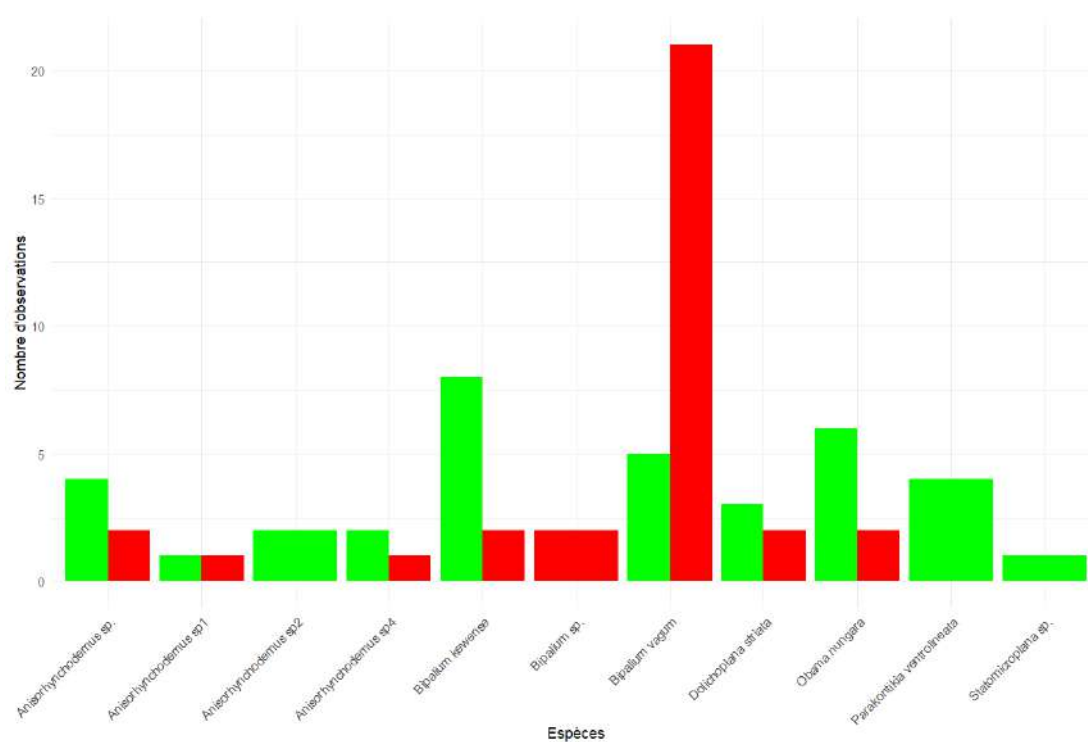


Figure 13 : Abondances par espèce et par type de site : jardin (rouge) ou milieu naturel (vert). Données issues du réseau de sciences participatives exclusivement.

Table 4 : Cas de prédation de différents invertébrés par des espèces de plathelminthes terrestres recensées à La Réunion au cours de l'année 2024.

Prédation de :	Par :	Lieu :	Photographie
Limace non identifiée	<i>Parakontikia ventrolineata</i>	Le bloc - Cilaos	
	<i>Bipalium vagum</i>	La Chaloupe - Saint Leu	
Ver de terre non identifié	<i>Parakontikia ventrolineata</i>	Forêt de Bon Accueil - Les Makes	
		Le bloc - Cilaos	
	<i>Parakontikia ventrolineata</i> (gauche) et <i>Bipalium kewense</i> (droite)	Jardin - La Plaine des Palmistes	
	<i>Obama nungara</i>	Sentier du Piton Bébour	
	<i>Bipalium kewense</i>	Jardin - La Plaine des Palmistes	
Cloporte non identifié	<i>Anisorhynchodemus sp2</i>	La Plaine des Grègues	
Escargot (<i>Bradybaena similaris</i>)	<i>Bipalium vagum</i>	Jardin - La Plaine des Palmistes	
Escargot (<i>Helix aspersa</i>)	<i>Obama nungara</i>	Jardin - La Plaine des Palmistes	
Escargot (<i>Omphalotropis</i> sp.)	<i>Bipalium vagum</i>	Jardin - La Plaine des Palmistes	

4. Discussion

4. 1. Identification et caractérisation des espèces présentes à La Réunion

Aucun signalement de plathelminthe terrestre n'avait été publié à La Réunion avant les observations de Beauchamp (1955) reportant la présence de *Kontikia* sp. sur 5 localités, un individu unique de *B. kewense* et quelques *R. sylvaticus*. Par la suite, ce n'est qu'en 2016 que Clain et *al.* signalent la présence de *P. ventrolineata* dans la commune de Petite Île. Aujourd'hui, grâce à notre étude, nous savons à présent que la répartition de cette espèce (*P. ventrolineata*) couvre une vaste part des espaces naturels réunionnais (présente sur 13 des 16 sites échantillonnés) du Nord au Sud de l'île. La carte de probabilité de présence obtenue de cette espèce met en évidence une répartition potentielle dans une vaste part des espaces naturels conservés au sein du Parc National de La Réunion.

En 2022(c), Justine et *al.* ont signalé la présence d'*O. nungara* à Petite France (commune de Saint-Paul) et à La Plaine des Grègues (commune de Saint-Joseph). Cette étude, cumulée aux données de sciences participatives, a permis de la localiser sur plus de huit sites supplémentaires, regroupant des observations des milieux très anthropisés (jardins citadins) aux milieux naturels (Notre Dame de La Paix (Le Tampon), Forêt de Bon Accueil (Saint-Louis), etc.). De plus, les études réalisées sur la répartition de cette espèce à l'échelle mondiale ne la localisent qu'à 500 m en France (Justine et *al.*, 2020) voire à 947 m d'altitude maximum dans les Açores (Lago-Barcia et *al.*, 2020). Cette présente étude identifie alors un record d'altitude pour cette espèce, largement présente sur les sites de Notre Dame de la Paix (1717 m) et des Hauts de Mont Vert (1640 m) dans la commune du Tampon.

De récentes données de sciences participatives ont signalé la présence d'*O. nungara* et de *P. ventrolineata* jusqu'au volcan à plus de 2000 m d'altitude (Huet, com. pers.). Ces résultats montrent la grande capacité d'adaptation de ces espèces à divers habitats et conditions environnementales (Sluys, 2016 ; Soors et *al.*, 2019 ; Justine et *al.*, 2020 ; Negrete et *al.*, 2020), appuyés par les cartes de probabilité de présence réalisées dans cette étude.

Notre étude associée aux données de sciences participatives a permis de comptabiliser 15 espèces de plathelminthes terrestres sur l'ensemble de l'île, améliorant ainsi la connaissance locale de ce taxon. L'étude de terrain a permis de détecter la présence de deux nouvelles espèces

pour La Réunion : *D. carvalhoi* et *Anisorhynchodemus* sp.3, appuyant ainsi l'importance des inventaires en milieu naturel pour mieux comprendre ce groupe taxonomique et sa variabilité.

Enfin, quatre morpho-espèces du genre *Anisorhynchodemus* sont distinguées à La Réunion et cette étude souligne la nécessité de réaliser des analyses histologiques afin de les identifier au stade d'espèce.

En parallèle, la notification de *Statomicroplana* sp.1 et 2 (Huet, com. pers.) via le réseau de sciences participatives appuie également l'importance d'études supplémentaires afin de déterminer le statut de ces espèces pour La Réunion.

L'échantillonnage de terrain a permis de comptabiliser une très grande part de *P. ventrolineata* par rapport aux autres espèces. Cette espèce se retrouve régulièrement en groupe (grégaire) allant jusqu'à une dizaine d'individus (Clain et al., 2016), ce qui pourrait expliquer cette observation. De plus, de par sa petite taille, sa couleur sombre et ses cocons de ponte discrets (Justine et al., 2014a), cette espèce peut très facilement passer inaperçue. Elle pourrait alors être présente depuis plus longtemps que l'on ne le pense sur le territoire aux vues de sa vaste répartition en milieu naturel.

L'absence de plathelminthe terrestre constatée au Piton Mont Vert pourrait s'expliquer par sa situation particulièrement isolée des zones urbaines, au milieu des champs de cannes.

Pour aller plus loin, l'analyse factorielle des correspondances (AFC) disponible en Annexe 6 met en avant des corrélations de présence entre les espèces, notamment entre *Anisorhynchodemus* sp.2 et *Anisorhynchodemus* sp.3 selon les dimensions 1 et 2, ainsi qu'un isolement de *C. coerulea* (trouvée une seule fois sur l'analyse). S'ajoute un regroupement des espèces *Kontikia* sp. et *Anisorhynchodemus* sp.1 et un isolement de *B. kewense* et *D. striata* selon les dimensions 3 et 4 de l'AFC. Ces informations complémentaires suggèrent des cohabitations plus favorables que d'autres, qu'il serait intéressant de développer par la suite.

La plupart des espèces échantillonnées sur le terrain ont été par le passé principalement signalées hors de leur milieu d'origine dans des lieux urbains, jardins, ou pépinières (Lago-Barcia et al., 2019 ; Soors et al., 2019). Cette étude a permis de montrer l'étendue de la présence de ces vers plats exotiques au sein de milieux naturels sensibles.

4. 2. La sensibilité des plathelminthes terrestres face aux variations climatiques

L'abondance des plathelminthes terrestres semble être particulièrement influencée par l'humidité et la température du sol. *P. ventrolineata* étant l'espèce la plus recensée, les variables significatives sur l'abondance totale sont principalement expliquées pour cette espèce. Il serait alors pertinent d'avoir plus de données sur les autres espèces afin d'émettre des conclusions à l'échelle spécifique. Par ailleurs, en retirant de l'analyse l'abondance de cette dernière, on a retrouvé un impact significatif de l'humidité qui peut alors montrer l'importance de ce facteur sur la distribution des plathelminthes terrestres de manière générale à La Réunion. Ceci est cohérent avec leur caractère stenohydrique hygrophile et les conclusions trouvées dans la littérature (Sluys, 1998). Selon Justine et *al.* (2018), la température a un rôle clé dans la régulation des plathelminthes terrestres. La sécheresse et le gel constituent des facteurs limitant leur propagation en Europe. À La Réunion, où le climat tropical est plus favorable à ces espèces, on distingue tout de même une valeur optimale de température du sol qui se dessine dans notre étude aux alentours de 20°C, à laquelle l'abondance est la plus élevée.

Tandis que des études comme celle d'Ogren (1955) montrent que l'abondance de certaines espèces est liée à la densité de végétation, notre étude n'a pas permis de valider ce constat. De plus, l'abondance et la richesse des plathelminthes terrestres ne semblent pas montrer de distinction claire entre les types de végétation dominants au sol, bien que peu de données aient été récoltées dans certains de ces types (Annexe 7). Il serait alors pertinent d'obtenir plus de données pour préciser cela. De manière générale, les différentes mesures de recouvrement n'ont pas montré de distinction entre les communautés de plathelminthes terrestres dans notre étude, ce qui appuie la présence de ces derniers dans une vaste diversité d'habitats.

Bien qu'aucun facteur n'ait montré d'impact significatif sur les variations de richesse spécifique au sein des unités d'échantillonnage, on remarque tout de même une diversité particulièrement importante dans des zones à l'Est de l'île, où la pluviométrie annuelle est particulièrement importante (*cf* Annexe 8). Afin de confirmer ou non cette tendance, il serait pertinent de reproduire cet échantillonnage sur différentes périodes de l'année. Cette observation semble tout de même cohérente avec les *hotspots* de diversité des plathelminthes terrestres se trouvant dans les forêts tropicales humides, notamment au sein de la forêt Atlantique (comprenant la

côte Atlantique du Brésil, l'Est du Paraguay et le Nord-Est de l'Argentine), où l'on retrouve plus de 180 espèces (Negrete et *al.*, 2014).

Par ailleurs, certains paramètres qui n'ont pas pu être mesurés sur le terrain faute de moyens techniques pourraient également jouer un rôle sur la structure des plathelminthes terrestres, comme le pH, qui s'est montré impactant dans certaines études (Fick et *al.*, 2006 ; Álvarez-Presas et *al.*, 2018). Il serait également intéressant de s'appuyer sur d'autres caractéristiques comme le type de sol, bien que cette étude illustre déjà la présence de certaines espèces comme *P. ventrolineata* sur une vaste diversité de ceux-ci : des sols très rocailleux au Maïdo (Lacoste & Picot, 2011), à des sols riches en fer sur le site de l'Eden (Lacoste et *al.*, 2016).

Comme discuté précédemment, l'humidité et la température du sol sont deux facteurs explicatifs de la forte abondance des plathelminthes terrestres en milieu naturel à La Réunion. Les cartes de probabilité de présence appuient que certaines espèces au fort potentiel envahissant (Justine et *al.*, 2014a ; Justine et *al.*, 2018) pourraient se propager largement sur le territoire aux vues du vaste spectre de conditions environnementales mondiales dans lesquelles on les retrouve. Dans l'étude de Justine et *al.* (2022c), le modèle de prédiction de présence de l'espèce *O. nungara* à partir d'un raster bioclimatique mondial projeté à La Réunion a montré que celle-ci pourrait se propager sur 57 % du territoire, dont 38 % avec une probabilité supérieure à 0.8. Notre étude confirme une forte probabilité de présence sur la moitié du territoire réunionnais. Pour autant, les cartes illustrent une répartition encore restreinte aux vues des données d'échantillonnage. En effet, sur la figure disponible en Annexe 9, on remarque que certaines données de terrain et de sciences participatives cumulées ne s'associent pas forcément à une probabilité de présence des espèces convenue par le modèle employé. Cela peut s'expliquer par des données échantillonnées à La Réunion dans des conditions climatiques (pluviométrie et température) rares par rapport aux autres observations plus nombreuses recensées à l'échelle mondiale. Elles peuvent correspondre à des données extrêmes, comme la présence de *P. ventrolineata* et *O. nungara* au volcan, un environnement particulièrement aride voire désertique, chaud et sec en journée selon la classification de Köppen-Geiger. Compte tenu du peu de données de ces espèces dans ce type d'environnement, il serait intéressant de multiplier les échantillonnages pour obtenir des cartes de probabilité de présence plus fiables à l'échelle de La Réunion. Par ailleurs, la probabilité de présence supérieure à 0.8 de *O. nungara* au sommet du Piton des Neiges, particulièrement désertique et rocheux, semble tout de même

peu réaliste malgré sa vaste répartition mondiale aux vues de la faible disponibilité en nourriture. Cela confirme que d'autres données relatives à cette disponibilité en nourriture ainsi qu'au type de sol pourraient être pertinentes à ajouter à ce modèle afin de vérifier et d'affiner les projections.

En tant qu'espèces exotiques pour la plupart, d'autres facteurs anthropiques pourraient également expliquer leur présence/absence et ainsi justifier une absence simplement par une introduction qui n'aurait pas encore eu lieu.

4. 3. Voies d'introduction et de dispersion potentielles des plathelminthes terrestres en milieu naturel

Dans cette étude, nous n'avons pas pu différencier l'abondance des plathelminthes terrestres au sein de boisements artificiels d'autres forêts. Plusieurs hypothèses peuvent alors être formulées. Ces boisements plantés de 1950 à 1990 sur une vaste partie du territoire (plus de 4500 ha ; Lacoste et *al.*, 2016) ont pu être une source d'introduction des plathelminthes terrestres dans les espaces naturels et se sont propagés avec le temps au sein des forêts conservées. Par ailleurs, d'autres sources d'importation pourraient expliquer cette colonisation comme les importations de plants dans les jardins de particuliers ou les serres, comme c'est le cas en France (Justine et *al.*, 2014a) et ailleurs dans le monde (Sluys, 2016). Ces jardins à proximité d'espaces naturels pourraient expliquer leur propagation. Cette théorie pourrait être une hypothèse expliquant l'abondance particulièrement forte en plathelminthes terrestres au Dimitile, un massif sur lequel l'on retrouve de nombreuses habitations aux jardins fleuris, étant accessible facilement par un réseau routier.

Plus récemment, les chantiers de restauration de la flore indigène de l'île par le biais de plantations au sein même des forêts pourraient également permettre leur importation. La détection de plathelminthes terrestres lors de visites en pépinières confirme cette voie d'entrée potentielle en milieu naturel à La Réunion (Le Tévelave : quatre espèces, Saint-Pierre : une espèce, Petite-Île : une espèce et Saint-Leu : quatre espèces). Au sein de ces pépinières, les provenances de terres, paillages ou autres substrats sont diverses à travers l'île (pépiniéristes, com. pers.) et pourraient alors se présenter comme d'autres voies d'introduction et/ou propagation.

Malgré la difficulté d'accès aux informations sur les plantations sur l'ensemble des sites n'ayant pas permis de sélectionner ce facteur dans les analyses, certaines données ont été obtenues. Des plantations sont effectives sur les sites de Mare Longue (en cours, depuis 2022), Sans Soucis (en cours, depuis 2022), Hauts de Mont Vert (en cours, depuis 2020), Notre Dame de la Paix (en cours, depuis 2022), La Petite Plaine (en cours, depuis 2022). Il serait alors

intéressant de compléter ces informations en ciblant les sites de plantation et leurs distances aux sites d'échantillonnage afin d'inclure cette variable dans l'analyse explicative de la distribution des plathelminthes terrestres au sein des espaces naturels. Dans cette même optique, il serait également pertinent d'ajouter une variable mesurant la distance à l'aménagement urbain le plus proche.

Aucun effet sentier n'a été perçu sur la distribution des plathelminthes terrestres au sein des espaces naturels ni sur l'ensemble des espèces, ni spécifiquement sur les espèces les plus communément retrouvées dans cette étude (Annexes 10 et 11). Cette observation pourrait être en lien avec les potentielles plantations de restauration discutées précédemment, conduisant à une introduction directe dans le cœur des forêts. Par ailleurs, de nombreuses plantations sur l'île ont été disposées aux abords des sentiers et des aménagements, et l'entretien de leurs berges est également régulier (agents ONF, com. pers.). Selon cette voie d'entrée potentielle, les données de cette étude traduisent alors une colonisation des plathelminthes terrestres des bordures au sein du cœur même des forêts.

4.4. La recherche active pour la détection des plathelminthes terrestres en milieu naturel

Les méthodes de recherches actives ont été utilisées dans la détection des plathelminthes terrestres (Negrete et *al.*, 2014 ; Cabayo et *al.*, 2016b). Par ailleurs, certaines études soulignent parfois une sous-estimation des effectifs, notamment des plus petites espèces (Cabayo et *al.*, 2016b). Pour des questions techniques, cette méthode n'a pas pu être réalisée dans cette étude. Les effectifs de certaines espèces, notamment la plus petite espèce échantillonnée dans cette étude (en moyenne inférieure à 1 cm), *R. sylvaticus*, auraient alors pu être sous-estimés. Aux États-Unis, Ogren (1989) a employé une stratégie de piégeage (planches de bois au sol) pour estimer les populations de cette dernière. Cette stratégie pourrait alors être une alternative pour estimer les densités des plus petites espèces. D'autre part, le protocole mis en place dans cette

étude pourrait également être réalisé de nuit afin de comparer les densités obtenues, comme dans l'étude de Negrete et *al.* (2014).

Ce protocole de recherche active sur une petite surface a par ailleurs permis d'échantillonner des plathelminthes terrestres sur la quasi-totalité des sites visités, de taille variant d'à peine un centimètre à une dizaine, ce qui présente un résultat intéressant et porteur pour la suite.

4.5. L'importance du réseau de sciences participatives

Le réseau de sciences participatives initié par l'ARBRE en 2021 a permis de recueillir plus de 80 signalements et l'identification de plusieurs espèces sur le territoire. Les comportements de prédation également rapportés permettent de mieux comprendre l'étendue de leur régime alimentaire à La Réunion ainsi que leur impact potentiel sur la faune locale. Il est très complexe, voire impossible, de lutter contre une espèce de plathelminthe terrestre exotique présente densément sur un territoire (Sluys, 2016). En effet, ces espèces sont cryptiques, se retrouvent dans une vaste diversité d'habitats et produisent, pour certaines, des cocons très discrets (Justine et *al.*, 2014a ; Clain et *al.*, 2016). Ce réseau de sciences participatives paraît également indispensable pour la détection précoce d'introduction de nouvelles espèces. *Platydemus manokwari*, qui se classe parmi les 100 espèces les plus envahissantes au monde (Lowe et *al.*, 2000), est responsable de dégâts sur la biodiversité, comme sur les gastéropodes indigènes des îles du Pacifique (Cowie & Robinson, 2003). Il n'a pour le moment pas été détecté à La Réunion mais sa présence est signalée en Martinique, en Guadeloupe et à Saint Martin (Justine et *al.*, 2014b). De plus, à partir des conditions environnementales associées à sa présence, sa propagation sur le territoire réunionnais est probable (*cf* carte de probabilité de présence de l'espèce, Annexe 12). Par ailleurs, certaines espèces signalées pour la première fois au lancement du projet en 2021 pourraient en réalité s'être établies sur le territoire depuis plus longtemps qu'on le soupçonne. C'est en effet ce que rapporte un pépiniériste contacté qui aurait observé régulièrement sur son terrain des vers "à tête de marteau" (genre *Bipalium*) depuis les années 90 (Bambouseraie Alexandre, com. pers.). Grâce aux signalements des particuliers, il est possible de détecter rapidement de nouvelles introductions afin de limiter leur propagation (Justine et *al.*, 2014b ; Luna & Boll ; 2023). Des mesures de contrôle pourraient être envisagées par des professionnels susceptibles de transporter des plants à travers le territoire (pépiniéristes, fleuristes, agents de gestion des

espaces protégés, etc.). Une vérification visuelle des pots avant le transport et au moment du rempotage par le personnel sensibilisé est envisageable et fortement recommandée. Les spécimens récoltés peuvent être tués dans de l'alcool ou à l'eau chaude supérieure à 34° pendant au moins 5 minutes (testé pour *A. triangulatus* par Murchie & Moore en 1998), voire de 43 à 50° pour une mortalité de 100 % testée sur l'espèce *P. manokwari* (Sugiura, 2008). Afin de freiner considérablement l'importation de nouvelles espèces de plathelminthes terrestres sur le territoire réunionnais, au-delà de la sensibilisation et de la lutte ciblée, il semble indispensable de mettre à jour la législation à l'échelle nationale (Justine et *al.*, 2014b).

5. Conclusion

Les plathelminthes terrestres exotiques se répandent aujourd'hui à travers le monde, suscitant une inquiétude grandissante quant à l'impact de certaines espèces. L'objectif principal de cette étude était d'approfondir les connaissances sur ce groupe à l'échelle de La Réunion, en identifiant leurs facteurs préférentiels et leurs voies potentielles d'introduction. Douze espèces ont été identifiées, dont deux nouvelles pour l'île, sur des localisations aux conditions météorologiques parfois extrêmes. Des variations, en termes de diversité et d'effectif, entre les 16 sites échantillonnés ont été détectées lors de cette étude. L'humidité et la température du sol sont apparues comme variables significatives permettant d'expliquer une partie des variations d'abondance de ces espèces au sein des milieux naturels. Néanmoins, cette étude ayant été réalisée seulement de jour et sur une unique saison, il est recommandé de poursuivre cette étude pour augmenter l'échantillonnage et l'étendue géographique de l'étude sur plusieurs saisons et période (jour versus nuit). Nos résultats n'ont pas permis de conclure sur les voies d'introduction potentielles testées ici : plantations des forêts de *C. japonica* et effet sentier. Les résultats suggèrent également que les plathelminthes terrestres sont largement répartis à l'échelle de l'île. Grâce aux relevés des sciences participatives et aux visites en pépinière, leur présence est confirmée des milieux anthropisés jusqu'aux milieux naturels. Bien que certaines caractéristiques environnementales puissent freiner leur expansion, les cartes de probabilité de présence des espèces *O. nungara*, *P. ventrolineata*, *B. vagum* et *B. kewense* montrent que leur propagation peut encore s'étendre sur l'île, dans des milieux variés, grâce à leur grande capacité d'adaptation. Ces espèces, déjà largement répandues à La Réunion et dont des comportements de prédation ont déjà été recensés, impliquent une vigilance accrue de leur propagation. Cette première étude sur la distribution des plathelminthes terrestres en milieu naturel à La Réunion

a permis de mettre en place un protocole de recherche innovant pour leur détection, et de servir de base pour un suivi de leur propagation à plus long terme. Cette étude offre également l'opportunité d'évaluer par la suite les impacts potentiels de ces espèces sur la biodiversité locale dans leur milieu naturel, en considérant leur abondance et les cas de prédation déjà documentés. Ces conclusions serviront de point de départ pour la mise en place de mesures de surveillance visant à prévenir de nouvelles introductions d'espèces à l'échelle du territoire, ainsi qu'au sein des écosystèmes préservés. Enfin, cette étude comble un vide de connaissances concernant ce groupe de taxons, tout en ouvrant de nouvelles perspectives de recherche. Elle soulève également des interrogations qui nécessitent des analyses biologiques approfondies pour confirmer les identifications spécifiques et mieux appréhender l'origine de ces espèces.

BIBLIOGRAPHIE

Almeida A-L., Álvarez-Presas M., Bolonhezi L., Carbayo F., 2022. Integrative taxonomy increases biodiversity knowledge of *Gusana* (Platyhelminthes, Tricladida, Geoplanidae) with the description of four new Chilean species. *Invertebrate Systematics* 36, 533-556.

Alvarez, L., de Almeida, E.J.C., 2007. Comparative karyotype analysis in diploid and triploid *Dolichoplana carvalhoi* (Tricladida, Terricola, Rhynchodemidae) from Brazil. *Genetics and Molecular Biology* 30 (2): 375-379

Álvarez-Presas, M., Mateos, E., Tudó, À., Jones, H., Riutort, M., 2014. Diversity of introduced terrestrial flatworms in the Iberian Peninsula: a cautionary tale. *PeerJ* 2, e430.

Alvarez-Presas, M., Mateos, E., Riutort, M., 2018. Hidden diversity in forest soils: Characterization and comparison of terrestrial flatworm's communities in two national parks in Spain. *Ecology and Evolution*.

Baptista, V. A., Leal-Zanchet, A. M., 2010. Land flatworm community structure in a subtropical deciduous forest in Southern Brazil. *Belgian Journal of Zoology*, 140(suppl), 83-90.

Barcelo, A., 1996. Analyse des mécanismes hydrologiques sur domaine volcanique insulaire tropical à relief jeune. Apports à la connaissance du bilan hydrique. Massif du Piton de la Fournaise (île de la Réunion). Université de Montpellier II, Montpellier, 270p.

Boag, B., Yeates, GW., Johns, PM., 1998. Limitations to the distribution and spread of terrestrial flatworms with special reference to the New Zealand flatworm (*Artrioposthia triangulata*). *Pedobiologia* 42:495-503.

Brown, M. D., Lindo, J., & Robinson, R., 2022. First record of exotic terrestrial flatworms (Tricladida: Geoplanidae) *Bipalium vagum* Jones & Sterrer, 2005 and *Dolichoplana striata* Moseley, 1877 with confirmation of *Platydemus manokwari* de Beauchamp, 1963 in Jamaica. *BioInvasions Record*, 11(2).

Cadet, T., 1980. La végétation de l'Île de La Réunion: étude phytoécologique et phytosociologique. PhD thesis, Université d'Aix-Marseille, France.

Carbayo, F., Leal-Zanchet, A. M., Vieira, E. M., 2002. Terrestrial flatworm Platyhelminthes: Tricladida: Terricola) diversity versus man-induced disturbance in an ombrophilous forest in southern Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 11, 1091–1104.

Carbayo, F., Álvarez-Presas, M., Jones, H.D., Riutort, M., 2016a. The true identity of *Obama* (Platyhelminthes: Geoplanidae) flatworm spreading across Europe. *Zool J Linn Soc*, 177: 5-28

Carbayo, F., Matarensi Junior, O., Jucá, M., 2016b. Relative and absolute density estimates of land planarians (Platyhelminthes, Tricladida) in urban rainforest patches. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 56, 27-32.

CBNM, 2021. Support de formation session « utilisation de la TDHR ».

Clain, C., Ratnadass, A., Fontaine, R., 2016. Fiche descriptive de *Parakontikia ventrolineata* (Dendy, 1892) Winsor, 1991.

Cowie, R. H., Robinson, A. C., 2003. The decline of native Pacific island faunas: changes in status of the land snails of Samoa through the 20th century. *Biological Conservation*, 110(1), 55-65.

DEAL Réunion, 2012. Espèces exotiques de vertébrés naturalisées, en semi-liberté ou déjà observées en milieu naturel à La Réunion d'après Mickael Sanchez (NOI) & Sarah Caceres (ONCFS) pour les reptiles terrestres et amphibiens (2010), SEOR (2011) pour les oiseaux, ARDA (2011) pour les poissons, et ONCFS (2011) pour les mammifères.

de Beauchamp, P., 1955. A propos de *Kontikia whartoni* (Gulliver) planaire terrestre des Mascareignes.

de Luna, M., Boll, PK., 2023. An annotated checklist of terrestrial flatworms (Platyhelminthes: Tricladida: Geoplanidae) from Mexico, with new records of invasive species from a citizen science platform and a new nomen dubium. *Zootaxa* pp. 518-532.

Ding, X., Song, L., Han, Y., Wang, Y., Tang, X., Cui, G., Xu, Z., 2019. Effects of Fe 3+ on acute toxicity and regeneration of planarian (*Dugesia japonica*) at different temperatures. *BioMed research international*.

Ducey PK., McCormick, M., Davidson, E., 2007. Natural history observations on *Bipalium* cf. *vagum* Jones and Sterrer (Platyhelminthes: Tricladida), a terrestrial broadhead planarian new to North America. *Southeastern Naturalist* 6:449–460.

Ducey, P. K., & Noce, S., 1998. Successful Invasion of New York State by the Terrestrial Flatworm, *Bipalium adventitium*. *Northeastern Naturalist*, 5(3), 199–206.

EOL Dynamic Hierarchy, 2022. Land Planarians. <https://eol.org/pages/3136/names>. Accessed 16 Apr 2024.

Fick, I. A., Leal-Zanchet, A. M., Vieira, E. M., 2006. Community structure of land flatworms (Platyhelminthes, Terricola): comparisons between Araucaria and Atlantic forest in Southern Brazil. *Invertebrate Biology*, 125(4), 306-313.

Fonseca, C.R., Ganade, G., Baldissera, R., Becker, C.G., Boelter, C.R., Brescovit, A.D., Campos, L.M., Fleck, T., Fonseca, V.S., Hartz, S.M., Joner, F., 2009. Towards an ecologically-sustainable forestry in the Atlantic Forest. *Biological Conservation*, 142(6), pp.1209-1219.

Frøehlich, C. G., 1955. On the Biology of land planarians. University of Sao Paulo, *Zoologia* p.263-271.

Gasnier S., 2005. Étude de l'arthropofaune terrestre de la réserve biologique des Makes : effet du programme de lutte mis en œuvre par l'O.N.F. contre le raisin marron (*Rubus alceifolius*). Mém. fin d'études. Master Pro « Contrôle et Conservation des Populations d'Insectes », Université de Tours / IRBI / Insectarium de La Réunion. 44pp.

Griffiths, O.L., Florens, V.F.B., 2006. A Field Guide to the Non-Marine Molluscs of the Mascarene Islands (Mauritius, Rodrigues and Réunion) and the Northern Dependencies of Mauritius. Bioculture Press, Mauritius. 185pp.

Gerlach, J., Barker, G. M., Bick, C. S., Bouchet, P., Brodie, G., Christensen, C. C., Yeung, N. W., 2021. Negative impacts of invasive predators used as biological control agents against the pest snail *Lissachatina fulica*: the snail *Euglandina 'rosea'* and the flatworm *Platydemus manokwari*. *Biological Invasions*, 23, 997-1031.

IUCN, 2010. Premiers résultats pour la faune de La Réunion. Dossier de presse, pp 26.

Jost, L., 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375.

Justine, J. L., Thévenot, J., Winsor, L., 2014a. Les sept plathelminthes invasifs introduits en France. *Phytoma*, 674, 28-32.

Justine, J. L., Winsor, L., Gey, D., Gros, P., & Thévenot, J., 2014b. The invasive New Guinea flatworm *Platydemus manokwari* in France, the first record for Europe: time for action is now. *PeerJ*, 2, e297.

Justine, J., Winsor, L., Barrière, P., Fanai, C., Gey, D., Han, A.W.K., La Quay-Velázquez, G., Lee, B.P.Y., Lefevre, J., Meyer, J., Philippart, D., Robinson, D.G., Thévenot, J., Tsatsia, F., 2015. The invasive land planarian *Platydemus manokwari* (Platyhelminthes, Geoplanidae): records from six new localities, including the first in the USA. *PeerJ* 3:e1037

Justine, J.-L., Winsor, L., Gey, D., Gros, P., Thévenot, J., 2018. Giant worms *chez moi!* Hammerhead flatworms (Platyhelminthes, Geoplanidae, *Bipalium* spp., *Diversibipalium* spp.) in metropolitan France and overseas French territories.

Justine, J.-L., Winsor, L., Gey, D., Gros, P., Thévenot, J., 2020. *Obama chez moi !* The invasion of metropolitan France by the land planarian *Obama nungara* (Platyhelminthes, Geoplanidae).

Justine, J.-L., 2022a. Les plathelminthes terrestres envahissants en France métropolitaine. La Terre, le vivant, les humains. Petites et grandes découvertes de l'histoire naturelle. Sous la direction de J-D. Vigne et B. David.

Justine, J.-L., Gastineau, R., Gros, P., Gey, D., Ruzzier, E., Charles, L., Winsor, L., 2022b. Hammerhead flatworms (Platyhelminthes, Geoplanidae, Bipaliinae): mitochondrial genomes and description of two new species from France, Italy, and Mayotte.

Justine, J. L., Marie, A. D., Gastineau, R., Fourcade, Y., Winsor, L., 2022c. The invasive land flatworm *Obama nungara* in La Réunion, a French island in the Indian Ocean, the first report of the species for Africa. *bioRxiv*, 2022-02.

Kawakatsu, Masaharu, Froehlich, C. G., Eudóxia, M., Jones, Hugh, D., Ogren, R. E., Robert E., Sasaki, Gen-Yu, 2003. Additions and corrections to the previous land planarian indices of

the world (Turbellaria, Seriata, Tricladida, Terricola). Bulletin of Fujis Women's University. 41: 89–114.

Lacoste M., Picot F., 2011. Cahiers d'habitats de La Réunion : étage altimontain. Rapport technique n° 7. Conservatoire Botanique de Mascarin, Saint-Leu, Réunion. 173 p.

Lacoste M., Picot F., 2014. Cahiers d'habitats de La Réunion : étage mégatherme semi-xérophile. Conservatoire Botanique de Mascarin, Saint-Leu, Réunion. 324 p.

Lacoste, M., Férard, J., Fontaine, C., Picot, F., Gigord, L., 2016. Cahiers d'habitats de La Réunion : étage mégatherme hygrophile. Conservatoire Botanique de Mascarin, Saint-Leu, Réunion. 335 p.

Lacoste, M., Férard, J., Fontaine, C., Picot, F., Rochier, T., Oudin, D., 2021. Cahiers d'habitats de La Réunion : étage mésotherme. Conservatoire Botanique de Mascarin, Saint-Leu, Réunion. 271 p.

Lago-Barcia, D., Gonzalez-Lopez, J. R., Fernandez-Alvarez, F. A., 2020. The invasive land flatworm *Obama nungara* (Platyhelminthes: Geoplanidae) reaches a natural environment in the oceanic island of São Miguel (Açores). Zootaxa, 4830(1), 197-200.

Legros, V., Rochat, J., Reynaud, B., Strasberg, D., 2020. Known and unknown terrestrial arthropod fauna of La Réunion Island, Indian Ocean. Journal of insect conservation, 24, 199-217.

Liu, Y., Chen, J., Dong, Z., Chen, G., Liu, D., 2021. Antioxidant responses and lipid peroxidation can be used as sensitive indicators for the heavy metals risk assessment of the Wei River: a case study of planarian *Dugesia Japonica*. Biomarkers, 26(1), 55-64.

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., & De Poorter, M., 2000. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. A selection from the Global Invasive Species Database. Published by The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), 12pp. First published as special lift-out in Aliens 12, December 2000. Updated and reprinted version : November 2004.

Luna, M., Boll, P.K., 2023. An annotated checklist of terrestrial flatworms (Platyhelminthes: Tricladida: Geoplanidae) from Mexico, with new records of invasive species from a citizen science platform and a new nomen dubium. *Zootaxa* pp. 518-532.

Météo France, 2021a. Cyclonic activity on Reunion Island. In: Météo France, La Réunion. <http://www.meteofrance.re/publications>. Accessed 16 Apr 2024.

Météo France (2021b) Temperatures and precipitations on Reunion Island. In: Données Publiques de Météo-France. <https://donneespubliques.meteofrance.fr>. Accessed 16 Apr 2024.

Middleton, G.J., Burney, D.A., 2013. Rodrigues – an indian ocean island calcarenite: its history, study and management. In: Lace MJ, Mylroie JE (eds) *Coastal Karst Landforms*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 261–276.

Mittermeier, R.A. Robles Gil, P. Hoffman, M. Pilgrim, J. Brooks, T. et al. 2005. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. Washington D.C.: Conservation International.

Mori, E., Magoga, G., Mazza, G., 2022. New records based on citizen-science report alien land planarians in the three remaining Italian regions and Pantelleria island, and first record of *Dolichoplana striata* (Platyhelminthes Tricladida Continticola Geoplanidae) in Italy. *Redia: Giornale di Zoologia*, 105.

Murchie, A.K, Moore, J.P., 1998. Hot-water treatment to prevent transference of the 'New Zealand flatworm', *Artioposthia triangulata*. *Pedobiologia* 42: 572.

Murchie, A. K., Justine, J. L., 2021. The threat posed by invasive alien flatworms to EU agriculture and the potential for phytosanitary measures to prevent importation (Doctoral dissertation, UICN).

Murchie, A.K., Gordon, A.W., 2013. The impact of the 'New Zealand flatworm', *Arthurdendyus triangulatus*, on earthworm populations in the field. *Biol Invasions* 15, 569–586.

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots conservation priorities. *Nature*, 403, 853 – 858.

Negrete, L., Colpo, K.D., Brusa, F., 2014. Land Planarian Assemblages in Protected Areas of the Interior Atlantic Forest: Implications for Conservation. *PLoS ONE* 9, e90513.

Negrete, L., Vargas Do Amaral, S., Gamino Ribeiro, G., Wolmann Gonçalves, J., Valiati, V-H., Damborenea, C., Brusa, F., Leal-Zanchet, A-M., 2020. Far away, so close! Integrative taxonomy reveals a new genus and species of land flatworm (Platyhelminthes: Geoplanidae) from southern South America, *Zoological Journal of the Linnean Society*, Volume 189, Issue 3, July 2020, Pages 722–744.

Nielsen, U. N., Wall, D. H., Six, J., 2015. Soil biodiversity and the environment. *Annual review of environment and resources*, 40, 63-90.

Noel, F., Gros, P., 2015. Recherche des Geoplanidae terrestres indigènes de France, méthodologie.

Ogren, R. E., 1989. Identification Features of the Two-Lined Land Planarian *Rhynchodemus sylvaticus*, with Evidence That *Rhynchodemus americanus* Is Conspecific. *Transactions of the American Microscopical Society*, 108(1), 40–44.

Ogren, R. E., 1995. Predation behaviour of land planarians. In *Biology of Turbellaria and some Related Flatworms: Proceedings of the Seventh International Symposium on the Biology of the Turbellaria*, held at Åbo/Turku, Finland, 17–22 June 1993 (pp. 105-111). Springer Netherlands.

Potapov, A.M., Sun, X., Briones, M.J.I., Brown, G.G., Cameron, E.K., Chang, C.–H., Cortet, J., Eisenhauer, N., Franco, A., Fujii, S., Geisen, S., Guerra, C., Gongalsky, K., Haimi, J., Handa, I.T., Janion-Scheepers, C., Karaban, K., Lindo, Z., Mathieu, J., Moreno, M.L., Murvanidze, M., Nielsen, U.N., Scheu, S., Schneider, C., Seeber, J., Tsiafouli, M., Tuma, J., Tiunov, A.V., Zaytsev, A.S., Aschwood, F., Callahan, M., Wall, D.H., 2022. Global monitoring of soil animal communities using a common methodology. *Soil Organisms* 94, 55–68.

Rahantamalala, A., Porphyre, V., Rabenindrina, N., Razafimahefa, J., Rasamoelina-Andriamanivo, H., Jambou, R., 2016. La cysticerose, une maladie négligée.

Roberts, D. M., Boag, B., Hunter, F., Tarlton, J., Mackenzie, K., Neilson, R., 2020. Genetic variability of *Arthurdendyus triangulatus* (Dendy, 1894), a non-native invasive land planarian. *Zootaxa*, 4808(1), 38-50.

Rochat J., 2008. la biodiversité invertébrée terrestre de La Réunion. Rapport technique. Insectarium de La Réunion.

Sluys, R., 1998. Land planarians (Platyhelminthes, Tricladida, Terricola) in biodiversity and conservation studies. *Pedobiologia* 42, 490–494.

Sluys, R., 2016. Invasion of the flatworms. *American Scientist*, 104(5), 288-295.

Sluys, R., 2019. The evolutionary terrestrialization of planarian flatworms (Platyhelminthes, Tricladida, Geoplanidae): a review and research programme. *ZSE* 95, 543–556.

Soors, J., Van den Neucker, T., Halfmaerten, D., Neyrinck, S., De Baere, M., 2019. On the presence of the invasive planarian *Obama nungara* (Carbayo, Álvarez-Presas, Jones & Riutort, 2016)(Platyhelminthes: Geoplanidae) in an urban area in Belgium. *Belgian Journal of Zoology*, 149.

Stokes, A. N., Ducey, P. K., Neuman-Lee, L., Hanifin, C. T., French, S. S., Pfrender, M. E., ... & Brodie Jr, E. D., 2014. Confirmation and distribution of tetrodotoxin for the first time in terrestrial invertebrates: two terrestrial flatworm species (*Bipalium adventitium* and *Bipalium kewense*). *PLoS One*, 9(6).

Strasberg, D., Rouget, M., Richardson, D. M., Baret, S., Dupont, J., & Cowling, R. M., 2005. An assessment of habitat diversity and transformation on La Réunion Island (Mascarene Islands, Indian Ocean) as a basis for identifying broad-scale conservation priorities. *Biodiversity & Conservation*, 14, 3015-3032.

Sugiura, S., 2008. Hot water tolerance of soil animals: utility of hot water immersion in preventing invasions of alien soil animals. *Applied Entomology and Zoology* 43: 207-212.

Thébaud, C., Warren, B., Strasberg, D., Cheke, A., 2009. Mascarene Islands, Biology. In Gillespie, R.G. & Clague, D.A. (eds) *Encyclopedia of Islands*. University of California press. Series: "Encyclopedias of the Natural World", pp 612–619.

Winsor, L., 1983. A revision of the cosmopolitan land planarian *Bipalium kewense* Moseley, 1878 (Turbellaria: Tricladida: Terricola). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 79(1), 61-100.

Winsor, L., 1997. The biodiversity of terrestrial flatworms (Tricladida: Terricola) in Queensland. *Memoirs of the Museum of Victoria*, 56(2), 575-579.

Winsor, L., 2003. Studies on the systematics and biogeography of terrestrial flatworms (Platyhelminthes: Tricladida: Terricola) of the Australian region (Doctoral dissertation, James Cook University).

Winsor, L., Johns, P. M., & Barker, G. M., 2004. Terrestrial planarians (Platyhelminthes: Tricladida: Terricola) predaceous on terrestrial gastropods. In *Natural enemies of terrestrial molluscs* (pp. 227-278). Wallingford UK: CABI Publishing.

ANNEXES

Annexe 1 : Description des différents étagements de végétation à La Réunion tiré du support de formation session « utilisation de la TDHR » (CBNM, 2021).

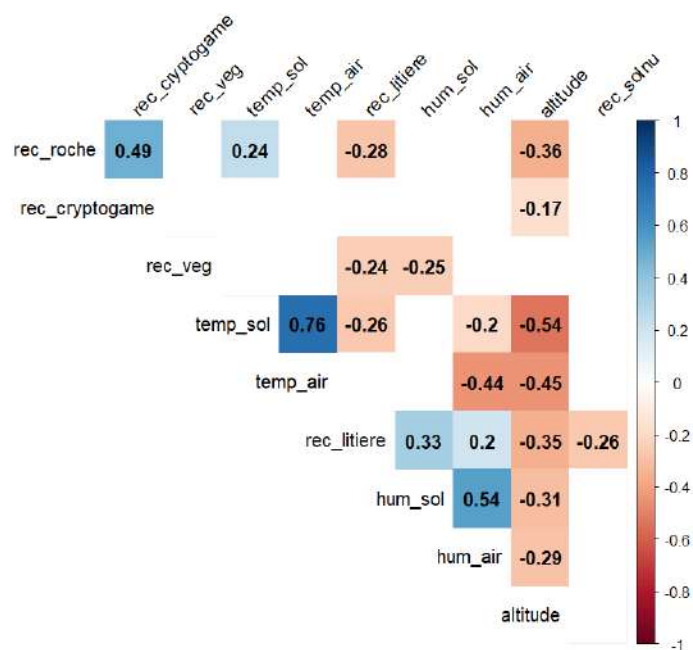
Etagements de végétation	Description
Étage mégatherme semixérophile	- À la suite de l'étage littoral, dès que l'influence des embruns n'est plus intégrée par la végétation, et jusqu'à l'étage mégatherme hygrophile de moyenne altitude, souvent vers 600m d'altitude en moyenne, mais jusqu'à 1300 m selon les localités. - température moyenne annuelle entre 18°C et 24-25°C. - pluviométrie inférieure à 2m/an et saison écologiquement sèche très marquée, avec jusqu'à 8 mois de sécheresse par an.
Étage mégatherme hygrophile	- À la suite de l'étage littoral, dès que l'influence des embruns n'est plus intégrée par la végétation, jusqu'à l'étage mésotherme, vers 1000 m d'altitude en moyenne. - température moyenne annuelle entre 16°C et 24-25°C. - pluviométrie de 2m/an à plus de 8m/an et pas de saison écologiquement sèche, avec rarement moins de 10 jours de pluie pour les mois les plus secs.
Étage mésotherme	- De 800 m. d'altitude dans l'Est, 1100 m dans l'Ouest, jusqu'à l'étage oligotherme, vers 1700 m d'altitude dans l'Est, près de 2000 dans l'Ouest. - température moyenne annuelle entre 10 °C et 18°C. - pluviométrie de 2m/an à plus de 12m/an
Étage altimontain	- Dès 1700 m sur les pentes au vent du massif du Piton de la Fournaise, ainsi qu'à partir de 1900 m dans l'ouest, et jusqu'aux sommets. - température moyenne annuelle entre 6 et 8 °C, avec des variations importantes (de 15°C à -2°C). - pluviométrie de 1.25m/an à 3.5m/an.

Annexe 2 : Description des sites d'étude. Source : Lacoste & Picot (2011), Lacoste & Picot (2014), Lacoste et *al.* (2016), Lacoste et *al.* (2021).

Sites	Précision de la localisation	Secteur	Statut de protection	Altitude moyenne des transects d'étude	Caractéristique forêt	Pluviométrie annuelle moyenne	Température annuelle moyenne
Mare Longue - Sentier botanique	sentier botanique	Sud	ENS	238	mégatherme hygrophile	4567.5	23.1
Hauts de Mont Vert	entrée du site	Sud	ENS	1631	mésotherme hygrophile	2404.5	15.6
Grand Etang	forêt secteur nord à l'entrée du site	Est	PNRun	561	mégatherme hygrophile	6061.5	18.9
Piton Mont Vert	sentier principal	Sud	ENS	576	semi-xérophile	1684.5	21.5
Notre dame de la paix	sentier botanique	Sud	ENS	1707	mésotherme hygrophile	2363.6	16.6
Forêt de Bon Accueil (Les Makes)	sentier de la découverte	Ouest	ENS	965	mésotherme hygrophile	2041.7	17.7
Forêt de Sans Soucis	entrée du site côté route forestière des cryptomérias	Ouest	ENS	1360	mésotherme hygrophile	2012.5209	15.6
Forêt de Mourouvin	sentier de randonnée au-dessus des citernes du bord de route	Est	PNRun	520	mégatherme hygrophile	9144.2	19.9
Forêt de la Petite Plaine	sentier botanique	Est	ENS	1244	mégatherme hygrophile	4647.2	15.6

Forêt d'Eden - Libéria	entrée du site	Est	ENS	735	mégatherme hygrophile	5469.2	19.8
Mamode Camp	entrée du site	Nord	PNRun	1127	mésotherme hygrophile	2765.8	15.6
Le Bloc - Cilaos	entrée du site	Ouest	PNRun	1435	mésotherme hygrophile	2423.4	15.9
Parc du Colorado	sentier de randonnée - boucle à partir du radar météorologique	Nord	PNRun	695	semi-xérophile	1950.2	21.2
Le Dimitile	début de sentier Boeuf - La Chapelle	Ouest	ENS	1135	mésotherme hygrophile	2186.7	16
Le Maïdo	hauts de route principale vers le point de vue	Ouest	PNRun	2076	altimontaine	1924.8	11.4
Forêt du Tremblet	route forestière du vieux port	Sud	PNRun	115	mégatherme hygrophile	4835.2	22.9

Annexe 3 : Table de corrélation entre les différents facteurs quantitatifs mesurés dans cette étude.

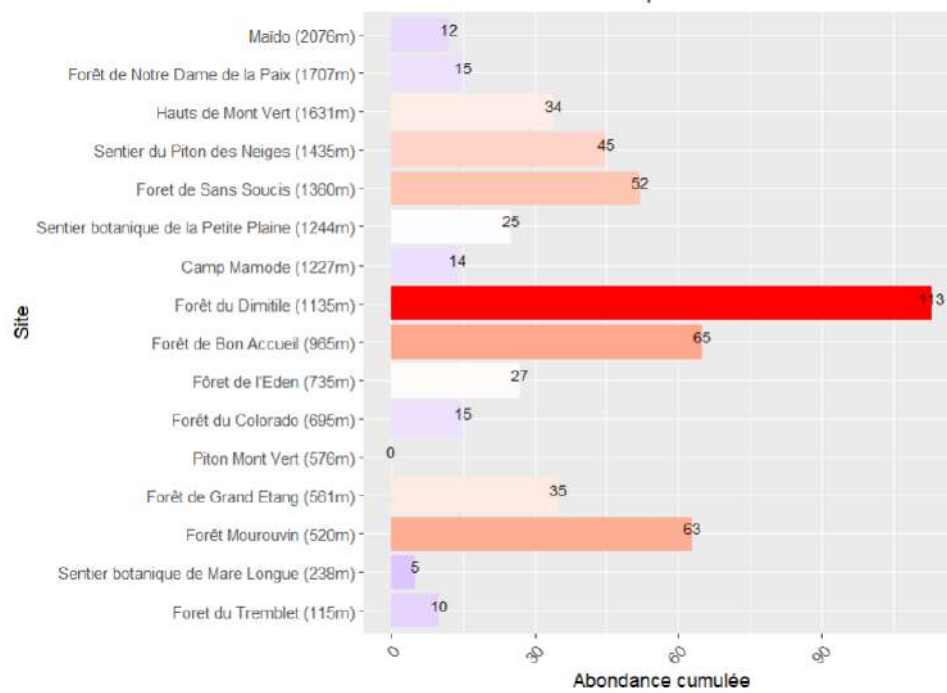


Annexe 4 : Critères de différenciation morphologique des 13 espèces observées au cours de cette étude à différentes échelles (taille, tête, yeux, face dorsale, face ventrale).

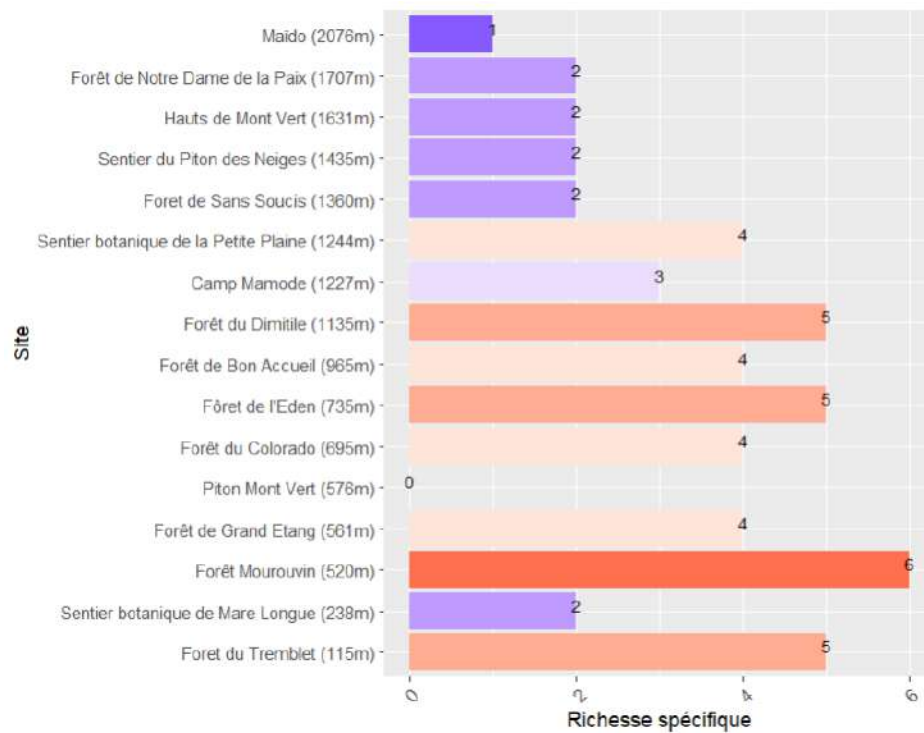
	Critère de différenciations morphologiques					Sources
Sous familles et espèces de Geoplanidae	Longueur moyenne	Tête	Yeux	Face dorsale	Face ventrale	
Sous famille Bipaliinae						
<i>Bipalium kewense</i>	de 10 à 40 cm	En forme de marteau	Nombreux, sur l'extrémité antérieur	Collier noir incomplet derrière la tête. Dos de couleur ocre avec 5 bandes longitudinales de couleur noire pour la centrale à grises pour les latérales	Crème, avec 2 bandes noires médianes avec une couleur plus claire entre les 2	Justine et al. (2018)
<i>Bipalium vagum</i>	entre 2 et 5 cm	En forme de marteau	Nombreux, sur l'extrémité antérieur	Collier noir complet derrière la tête. Dos de couleur ocre clair avec 3 bandes longitudinales, une bande noire centrale épaisse entourée de deux bandes plus fines marrons	Crème, uniforme avec légère bande grise au centre	Justine et al. (2018)
Sous famille Geoplaninae						
<i>Obama mungara</i>	entre 5 et 7 cm de long et 0,5 à 1 cm de large	Arrondie	Latéraux, nombreux	Marron (pouvant varier du orange au marron foncé), nombreuses petites stries noires	Crème, uniforme	Carbayo et al. (2016a)
Sous famille Rhynchodeminae						
Tribu Caenoplanini						
<i>Caenopiana coerulea</i>	entre 5 et 10 cm	Arrondie	Latéraux, nombreux	Noire, une bande longitudinale unique jaune	Bleue	Justine et al. (2014)
<i>Parakontikia ventrolineata</i>	entre 1 et 5 cm	Arrondie	Latéraux, nombreux	Noire-verte foncée avec une bande longitudinale plus claire au milieu de laquelle se trouve une nervure noire centrale	Grise clair	Justine et al. (2014), Shyts (2016)
<i>Kontikia</i> sp.	entre 1 et 3 cm	Arrondie	Latéraux, nombreux	Couleur marron clair avec 1 bandes longitudinales dorsale principale noire épaisse et 2 bandes médianes plus fines marrons	Grise claire	Winsor (non publié)
Tribu Rhynchodemiini						
<i>Dolichopiana carvalhoi</i>	entre 5 et 10 cm	Arrondie	Une paire au niveau de l'extrémité antérieur	Couleur crème avec 5 bandes dorsales longitudinales : 1 médiane, 2 latérales et 2 marginales paires	3 bandes ventrales grises foncées.	Alvarez & Almeida (2007)
<i>Dolichopiana striata</i>	une dizaine de cm	Arrondie	Une paire au niveau de l'extrémité antérieur	Couleur ocre clair. 6 bandes longitudinales : 2 médianes étroites visibles sur la partie antérieur, 2 bandes latérales noires très visibles et 2 bandes marginales épaisses et diffuses	Couleur crème avec au centre une bande grise pâle avec une ligne médiane fine d'un gris légèrement plus foncé.	Brown et al. (2022), Winsor (1997), De Luna & Boll (2023)
<i>Rhynchodemus sylvaticus</i>	entre 0,5 et 1 cm	Arrondie, légèrement pointue	Une paire au niveau de l'extrémité antérieur	Couleur grise claire avec 2 bandes médianes dorsales plus sombres. Au deux tiers de son corps, on retrouve généralement une tâche sombre	Couleur grise claire	Ogren (1989)
<i>Anisorhynchodemus sp1</i>	entre 5 et 10 cm	Arrondie	Une paire au niveau de l'extrémité antérieur	Couleur grise claire avec une large bande grise foncée entre 2 bandes noires épaisses avec au centre une fine nervure noire	Couleur grise claire	Clé d'identification par Winsor (non publié)
<i>Anisorhynchodemus sp2</i>	entre 5 et 10 cm	Arrondie	Une paire au niveau de l'extrémité antérieur	Couleur crème avec 4 bandes longitudinales : 2 médianes étroites avec une couleur sombre grisâtre au milieu de celles-ci, 2 bandes latérales noires très visibles	Couleur crème	Clé d'identification par Winsor (non publié)
<i>Anisorhynchodemus sp3</i>	inconnue	Arrondie	Une paire au niveau de l'extrémité antérieur	Couleur crème avec 3 bandes	Couleur crème	Clé d'identification par Winsor (non publié)

Annexe 5 : Abondance (a) et richesse spécifique (b) totale par site d'échantillonnage.

a.

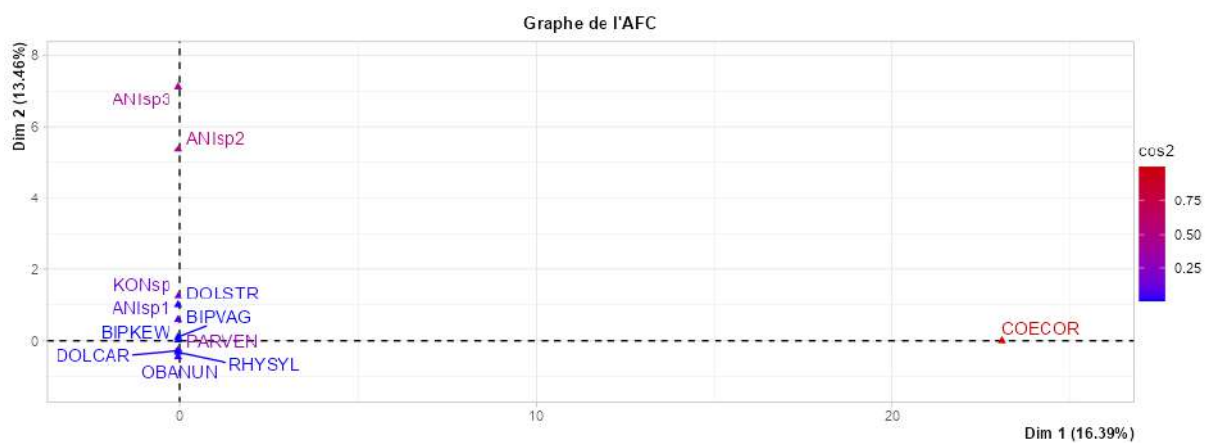


b.

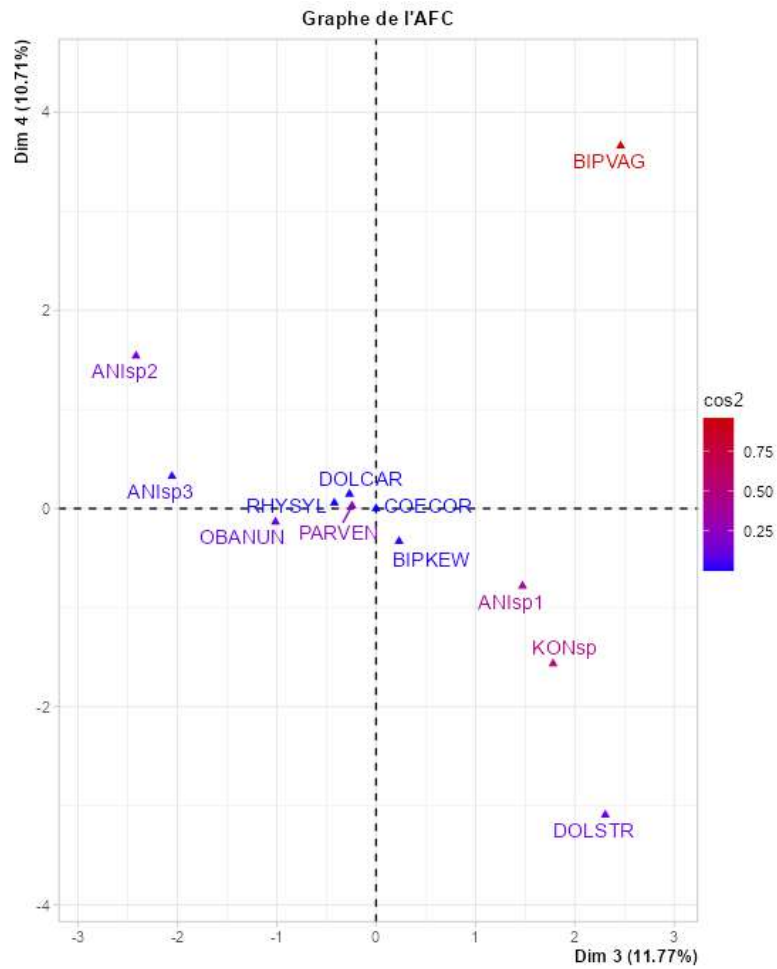


Annexe 6 : Analyse factorielle des correspondances de l'ensemble des espèces échantillonnées au cours de cette étude selon (a) les dimensions 1 et 2 responsables de 29.85% de la variance et (b) les dimensions 3 et 4 responsables de 22.48% de la variance.

a.

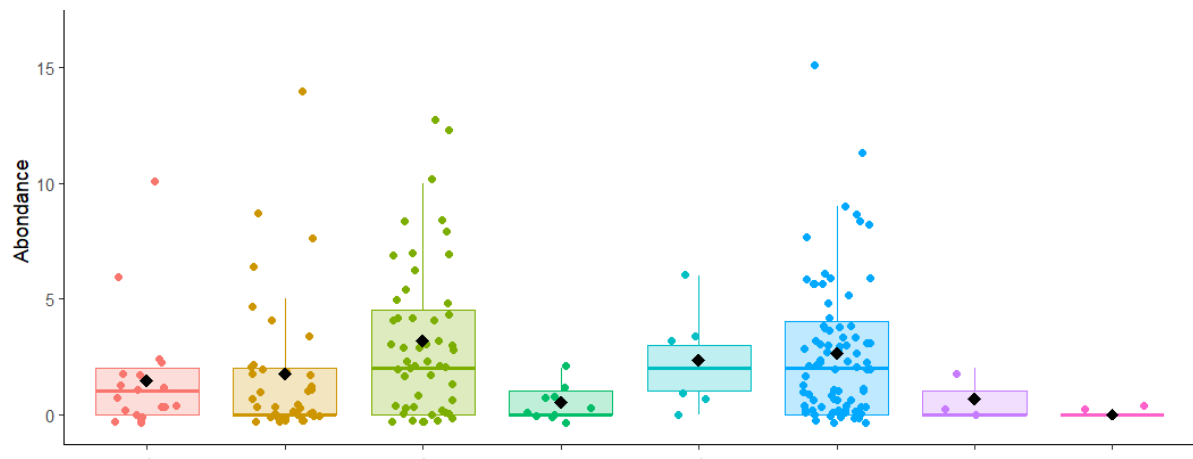


b.

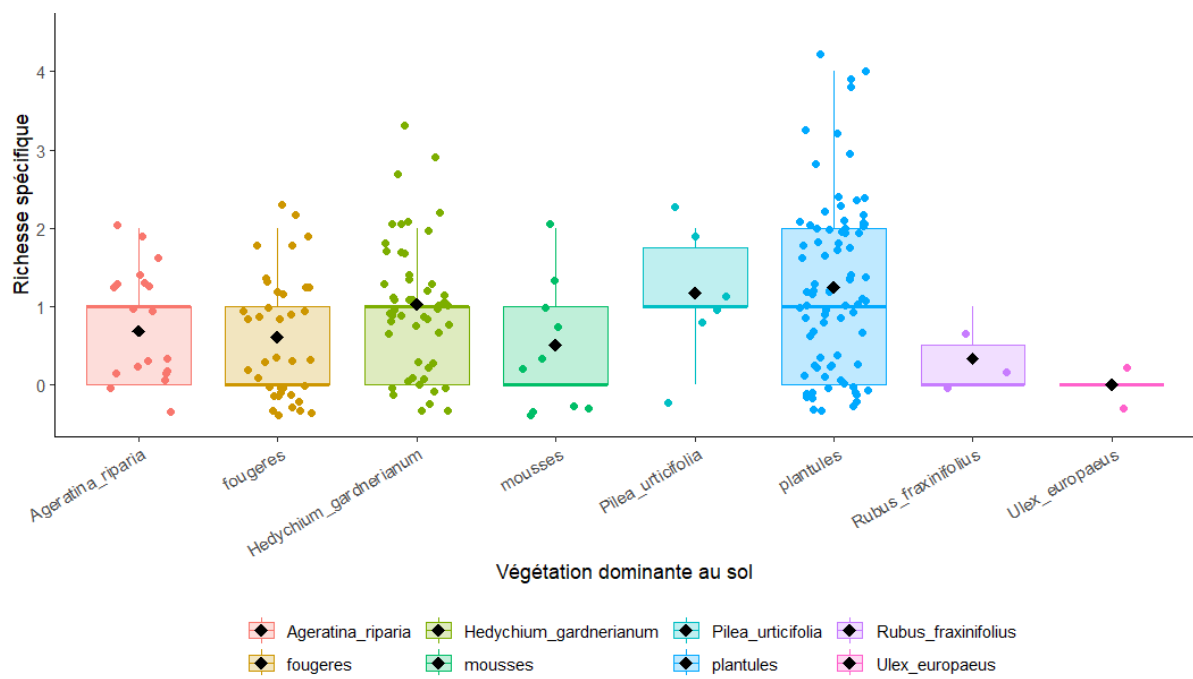


Annexe 7 : Abondance (a) et richesse spécifique (b) des plathelminthes terrestres selon le type de végétation dominante au sol. La moyenne est représentée par les points noirs.

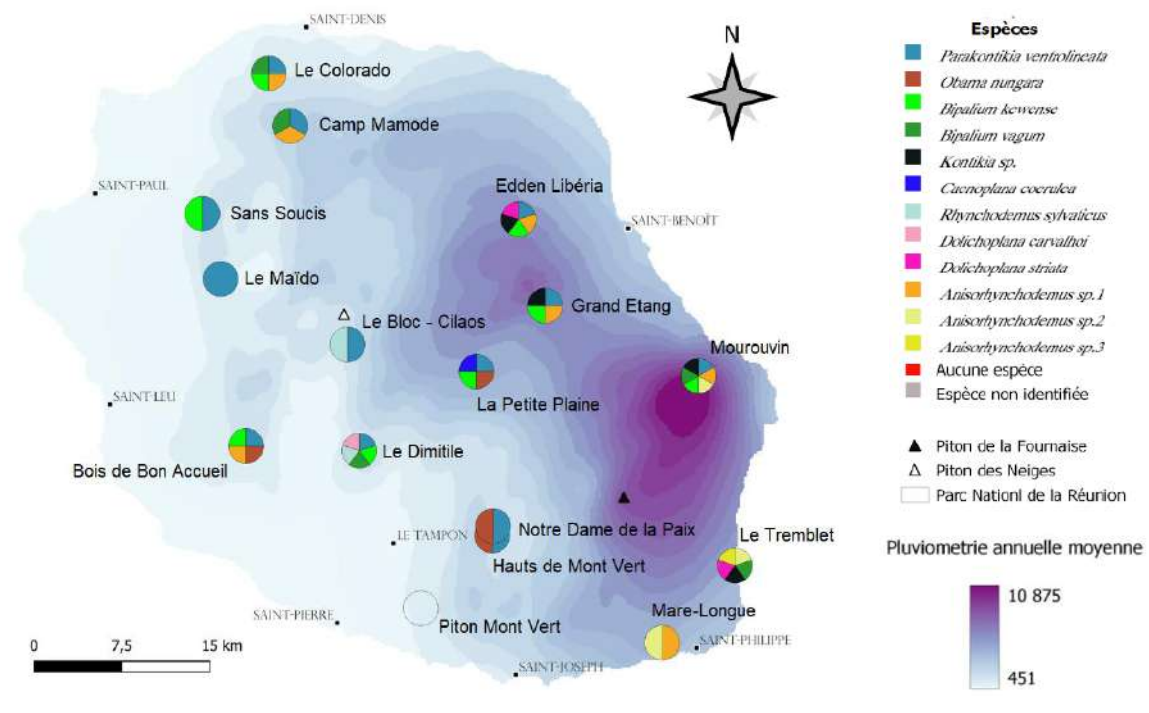
a.



b.

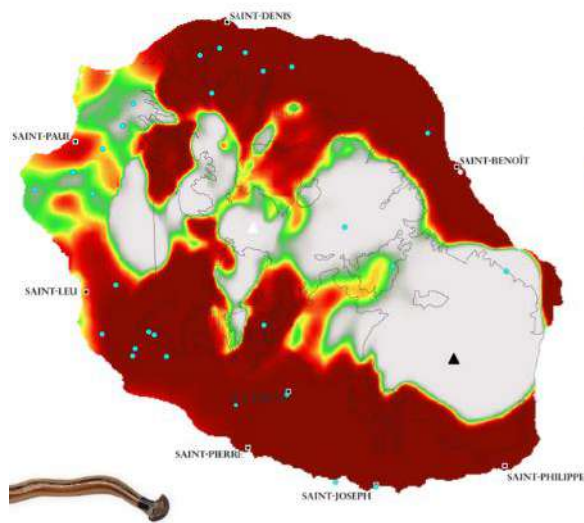


Annexe 8 : Diversité des plathelminthes terrestres sur les sites échantillonnés calquée sur un raster de pluviométrie annuelle moyenne à La Réunion (source : Météo France).



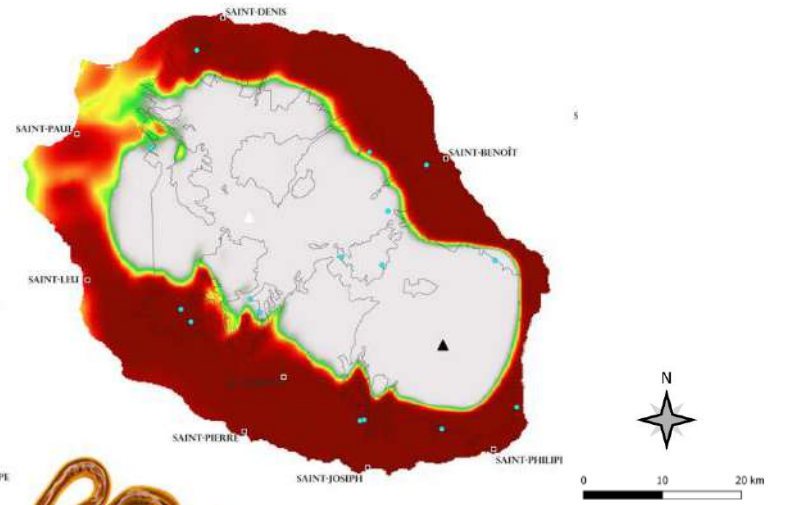
Annexe 9 : Cartes de probabilité de présence (SDM) des espèces (a) *P. ventrolineata*, (b) *O. nungara*, (c) *B. kewense* et (d) *B. vagum* à La Réunion et présence signalée (points bleus).

a.



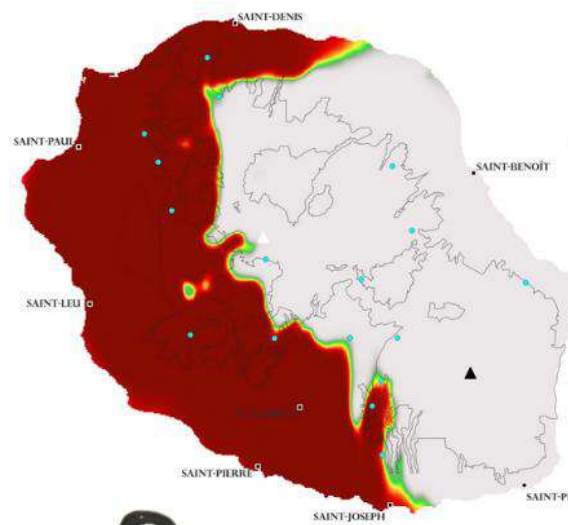
B. vagum

b.



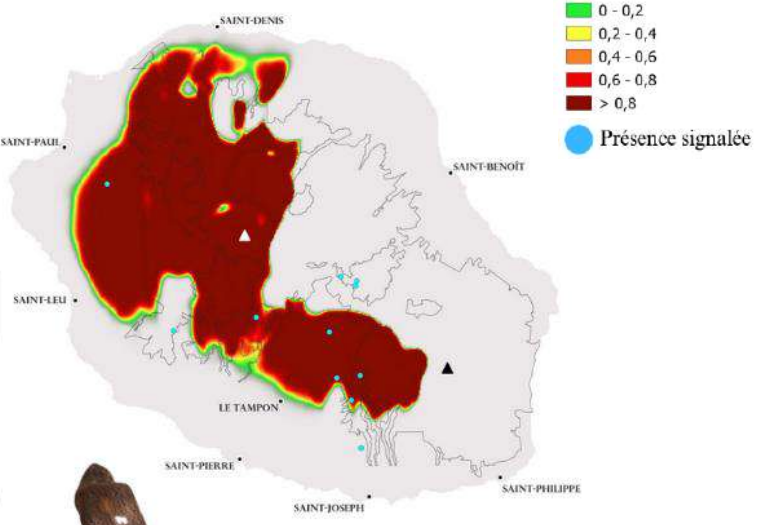
B. kewense

c.

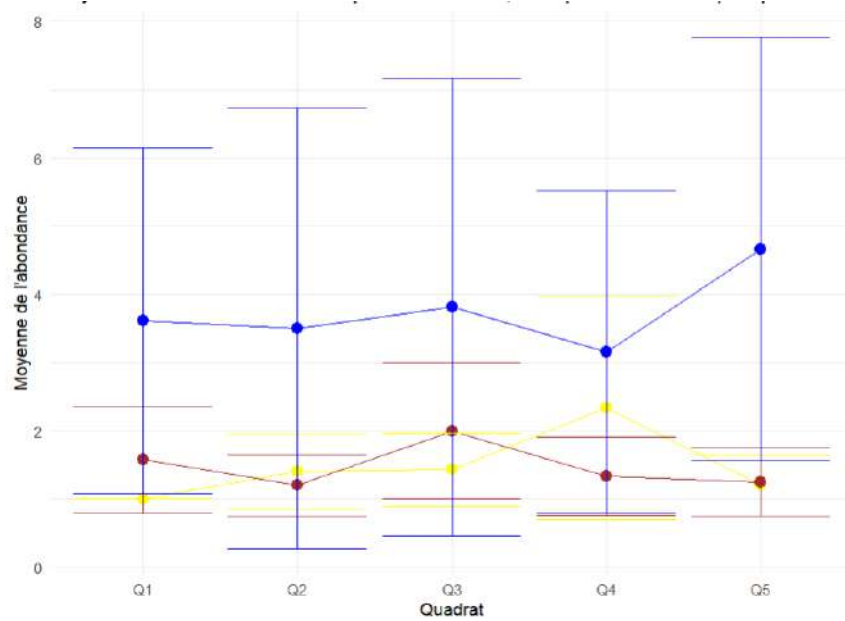


P. ventrolineata

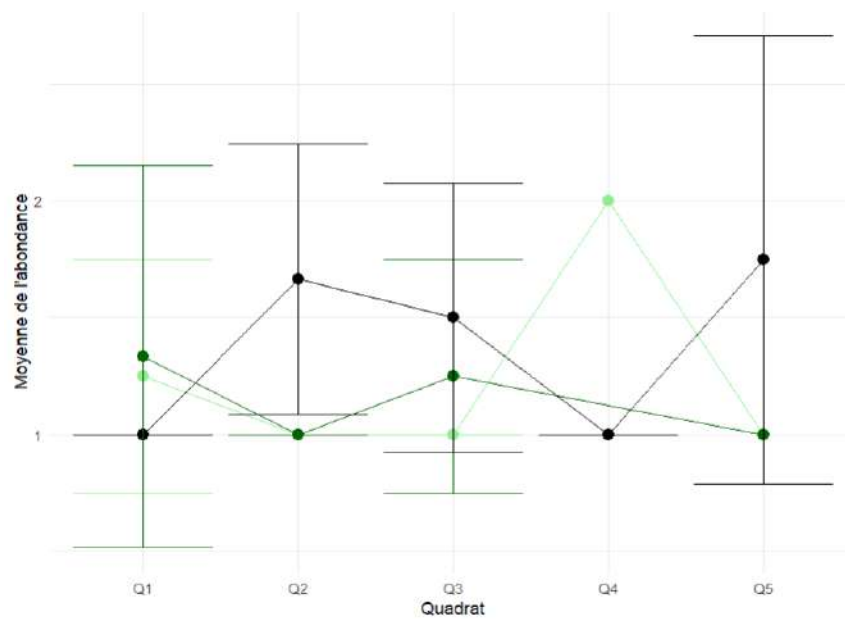
d.



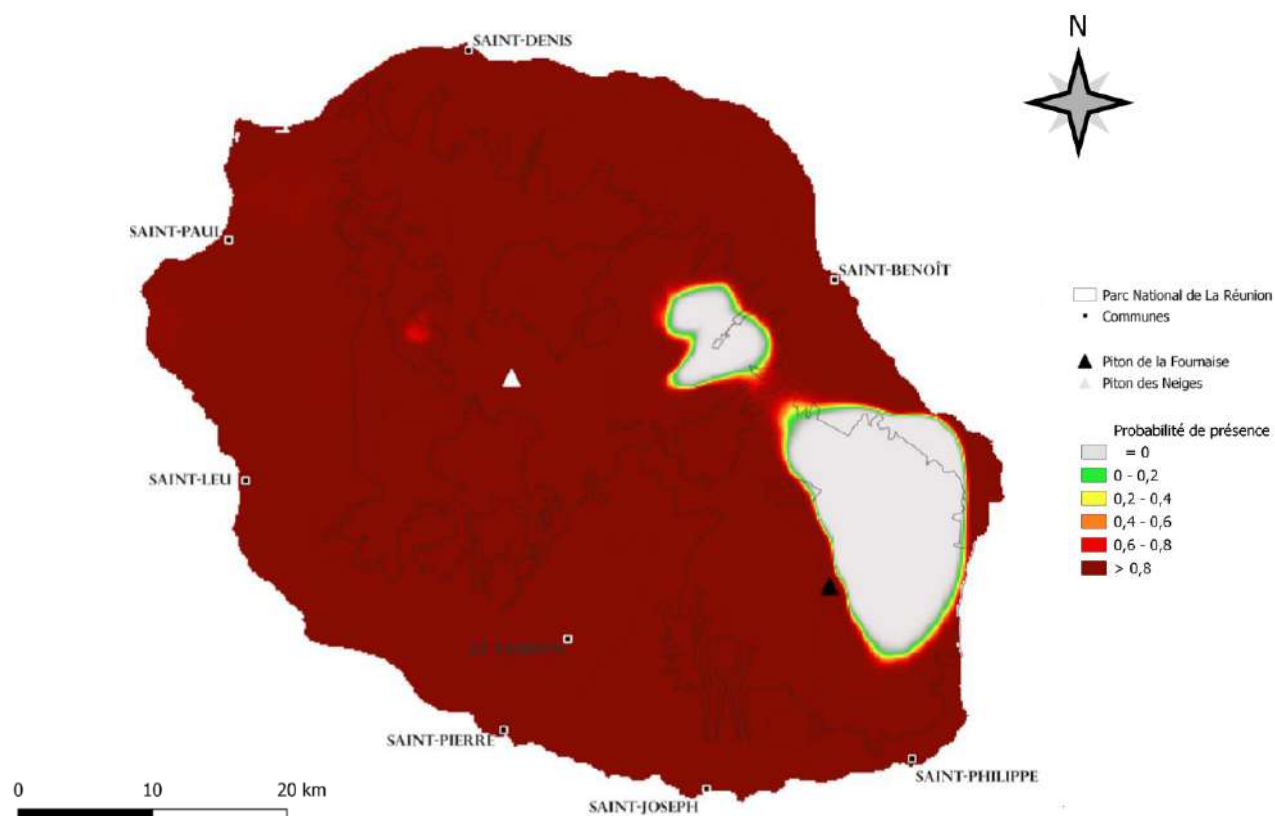
O. nungara



Annexe 10 : Moyenne des abondances par quadrat des espèces *P. ventrolineata* (bleu), *Anisorhynchodemus* sp.1 (jaune) et *O. nungara* (marron) sur l'ensemble des sites d'échantillonnage.



Annexe 11 : Moyenne des abondances par quadrat des espèces *B. vagum* (vert foncé), *B. kewense* (vert clair) et *Kontikia* sp. (noir) sur l'ensemble des sites d'échantillonnage.



Annexe 12 : Carte de probabilité de présence de l'espèce *P. manokwari* à La Réunion à partir des données mondiales issus de la plateforme GBIF.