



ETUDE DES INVERTEBRES ET DES MACROPHYTES DES PETITS PLANS D'EAU DE GUADELOUPE

Synthèse des résultats de l'appel à projet
scientifique du Parc national de la Guadeloupe

Année 2021

Période de l'étude : 2022-2023

5 agences couvrant l'ensemble du territoire et
plus de **20 ans d'expérience** d'étude des milieux aquatiques.

Agence Sud-Ouest - Siège social

ZA du Grand Bois Est, route de Créon
33750 SAINT-GERMAIN-DU-PUCH
Tel. 05 57 24 57 21
contact@aquabio-conseil.com

Agence Centre

41, rue des frères Lumière
63100 CLERMONT-FERRAND
Tel. 04 73 24 77 40
centre@aquabio-conseil.com

Agence Nord-Est

Ferme du Marot - D14
25870 CHÂTILLON-LE-DUC
Tel. 03 81 52 97 46
nord-est@aquabio-conseil.com

Agence Ouest

ZAC Beauséjour, rue de la gare du tram
35520 LA MÉZIÈRE
Tel. 02 99 69 73 77
ouest@aquabio-conseil.com

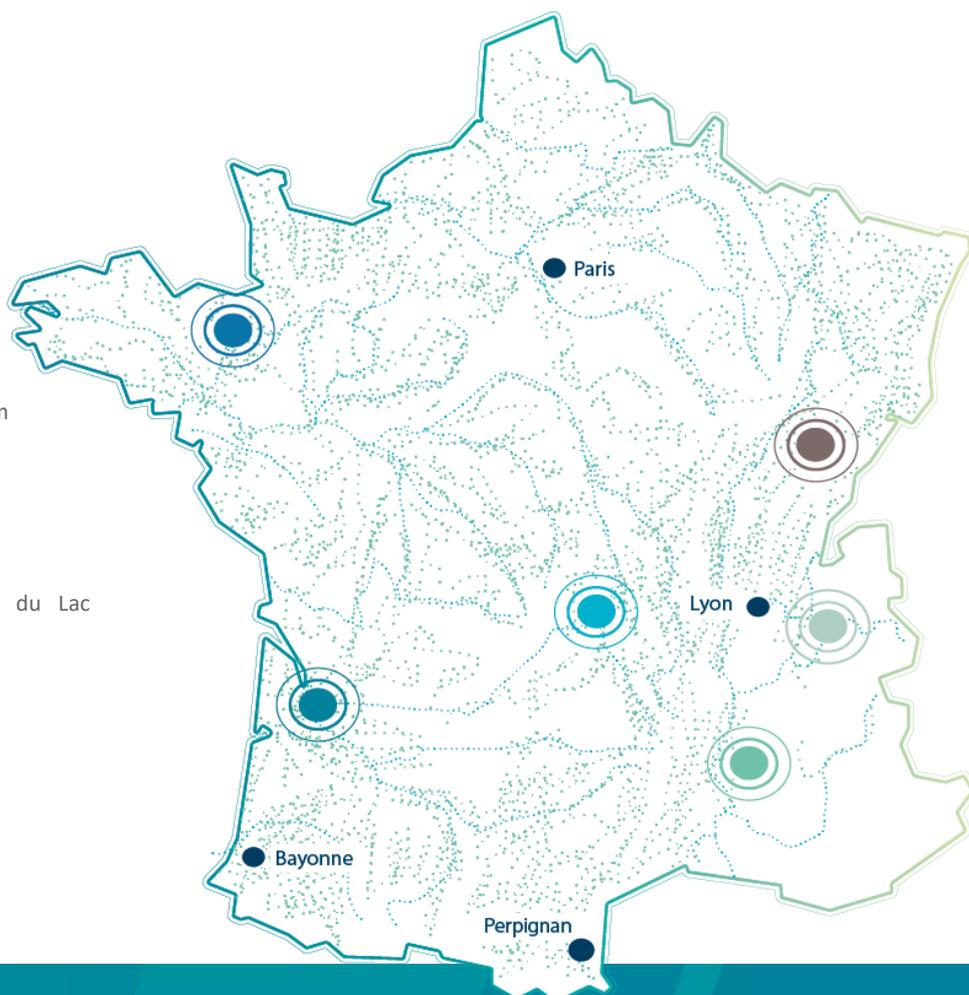
Agence de Chambéry

Bâtiment Andromède, 108 avenue du Lac
Léman BP70363

73372 Le Bourget du Lac Cédex
Tel. 04 79 33 64 55
chambery@aquabio-conseil.com

Nos relais et partenaires locaux

Anglet, Gan, Lyon



REDACTEUR

Nom : Frédéric LABAT

Date : 22/05/2023

Visa :



SOMMAIRE

SOMMAIRE	1
INTRODUCTION	2
I. Choix des plans d'eau suivis.....	2
I.1. Sélection préliminaire des sites	2
I.2. Validation de la présélection.....	4
I.3. Autorisations d'échantillonnage	4
II. Sélection sur le terrain.....	4
METHODOLOGIE.....	6
I. Suivi physico-chimiques.....	6
II. Suivi des macrophytes	6
II.1. Pourquoi étudier les macrophytes ?	6
II.2. Méthode d'échantillonnage et de traitement au laboratoire : protocole S _{3m} (LABAT et al., 2022b)	7
III. Suivi des invertébrés.....	9
III.3. Pourquoi étudier les invertébrés ?	9
III.4. Méthode d'échantillonnage et de traitement au laboratoire : protocole S _{3i} (LABAT et al., 2022a).....	10
IV. Analyse de la diversité des communautés de macrophytes et d'invertébrés	10
V. Comparaison avec la France continentale et développement d'un indicateur	11
RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	12
I. Clé d'identification des invertébrés.....	12
II. Nouveaux taxons pour la Guadeloupe	12
III. Diversité des communautés de macrophytes et d'invertébrés des plans d'eau de Guadeloupe	21
III.1. Communautés d'invertébrés	21
III.1.1. Analyse des richesses et diversités par site et intersites.....	21
III.1.2. Analyse de la diversité beta par classification hiérarchique.....	22
III.2. Communauté de macrophytes.....	25
III.2.1. Analyse des richesses et diversités par site et intersites.....	25
III.2.1. Analyse de la diversité beta par classification hiérarchique.....	26
CONCLUSIONS.....	28
BIBLIOGRAPHIE.....	29
ANNEXES.....	34

INTRODUCTION

Dans le cadre d'un appel à projet du Parc National de la Guadeloupe (« Macrophytes et macroinvertébrés des mares de Guadeloupe », convention 2021-56), les invertébrés et les macrophytes de 26 petits plans d'eau (mares et étangs) de Guadeloupe ont été inventoriés en avril 2022.

L'objet de cette étude était principalement de fournir une clé d'identification des invertébrés aquatiques de la Guadeloupe plus complète que celles existantes, tout en contribuant à une meilleure connaissance des invertébrés et macrophytes de la Guadeloupe. Les données récoltées devaient également servir à aborder le fonctionnement des mares de Guadeloupe et à développer si possible un indicateur pour ces milieux.

Ce rapport décrit les méthodes utilisées pour sélectionner et échantillonner les sites et analyser les résultats, et présente une analyse des communautés basées sur ces 26 relevés.

Les échantillonnages, relevés, analyses laboratoire et la rédaction du rapport ont été effectués par le personnel d'AQUABIO suivant :

Tableau 1 - Personnel ayant participé à l'étude

		Prélèvements	Analyses laboratoire	Traitement des données & rapport d'étude
Macroinvertébriste	ZEILLER Romain	X		
Macroinvertébriste (Odonates adultes)	MORTON Céline	X		
Responsable R&D, Macroinvertébriste Botaniste	LABAT Frédéric	X	X	X

I. CHOIX DES PLANS D'EAU SUIVIS

I.1. Sélection préliminaire des sites

Une première sélection des sites à suivre a été réalisée à partir de l'inventaire des plans d'eau de Guadeloupe de BD Carthage 2009 (1880 plans d'eau). Les plans d'eau avec des données non collectables, ayant disparus d'après les échanges avec le Parc National ou observation d'orthophotographies ont été supprimés avant sélection préliminaire.

Cette sélection préliminaire a donc été réalisée sur 478 plans d'eau de la BD Carthage à partir d'une sélection aléatoire au sein de groupes définis par une analyse statistique reposant sur trois groupes de facteurs environnementaux :

- > L'altitude, définie à partir de la BD ALTI V2 75m
- > La géologie, définie à partir des couches géologiques des Caraïbes de l'U.S. Geological Survey (FRENCH & SCHENK, 2004). Les entités géologiques ont été regroupés en trois types : alluvionnaire, dépôts marins et volcanique.
- > L'occupation du sol d'après Corine Land Cover 2012. Le pourcentage de chaque entité a été défini d'après un buffer circulaire de 500m de rayon autour de chaque plan d'eau. Un type géologique dunaire a été défini lorsque le % de mers et océans au sein du buffer dépassait 70%.

Toutes les données et analyses cartographiques et statistiques ont été traitées sous R (R CORE TEAM, 2020).

L'analyse statistique (partitionnement) ayant permis de pré-sélectionner les plans d'eau a été appliquée sur les quatre types géologiques identifiés par analyse cartographique : (1) dépôts marins, (2) volcanique, (3) alluvions et (4) dunaire (Tableau 2).

Afin d'identifier des groupes de plans d'eau sur lesquels opérer une sélection aléatoire, la racine carrée de la dissimilarité de Bray-Curtis a été calculée sur les quatre matrices (type géologiques) regroupant les données d'altitude et d'occupation du sol. La matrice de dissimilarité a ensuite été soumise à une classification hiérarchique (dendrogramme) en utilisant la méthode de la variance minimale de Ward (WARD, 1963). Les groupes de plans d'eau ont ensuite été identifiés en comparant la matrice de distance obtenue avec le dendrogramme et les matrices binaires représentant toutes les partitions possibles (BORCARD *et al.*, 2011). Un

algorithme de sélection aléatoire de 10 sites par groupe (ou moins lorsque le groupe défini comportait moins de 10 sites) a alors été appliqué pour sélectionner des plans d'eau au sein de chaque groupe. Un exemple de partitionnement est proposé Figure 1.

Tableau 2 - Nombre de plans d'eau par grand type géologique

Type géologique	Nombre de plans d'eau	Nombre de plans d'eau présélectionnés
Dépôts marins	185	47
Volcanique	80	23
Alluvions	57	22
Dunaire	156	31
Total	478	123

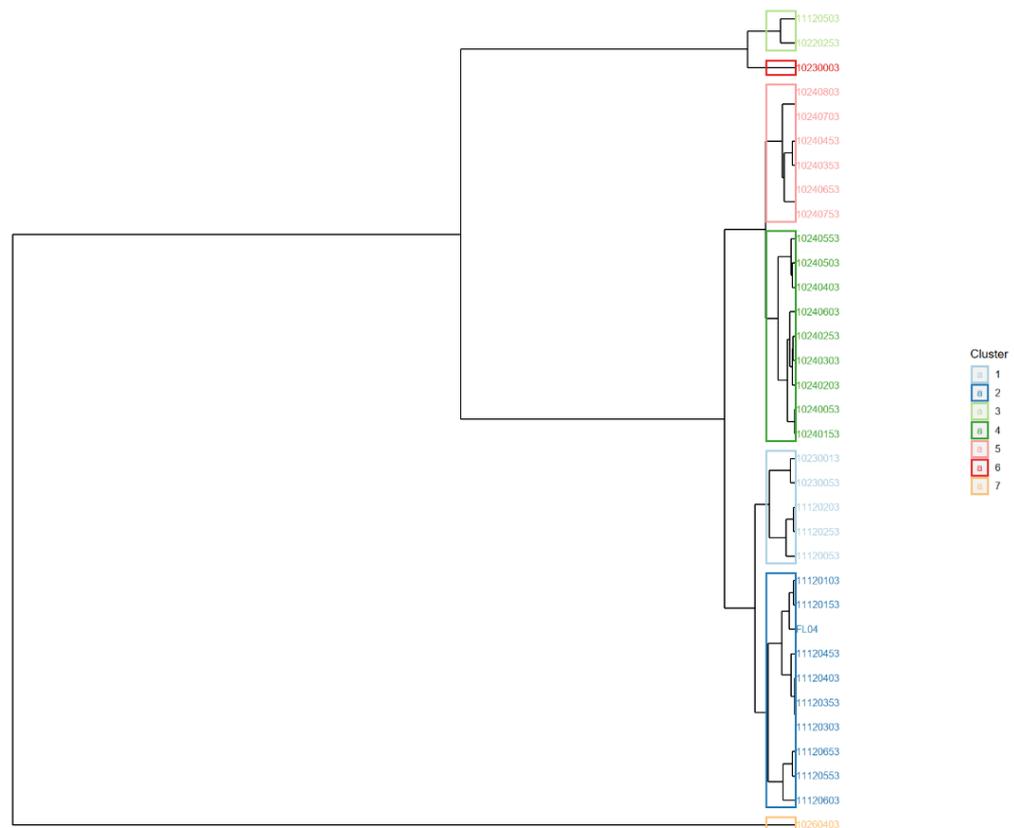


Figure 1 - Partitionnement obtenu pour les plans d'eau de type alluvionnaire

I.2. Validation de la présélection

Les plans d'eau sur le cœur du Parc National étant très peu nombreux, il a été décidé de tous les présélectionner, à l'exception du lac Flammarion, en raison des difficultés d'accès.

Lorsque cela était possible les plans d'eau déjà suivis par l'équipe de Philippe Jarne, Jean-Pierre Pointier et Patrice David pour des travaux de recherche sur les mollusques dulçaquicoles (253 plans d'eau, mais dont la plupart sont temporaires) ont été privilégiés.

Il n'a pas été possible de réaliser une sélection des mares suivies par le Professeur Jérémie (JEREMIE & RAYNAL-ROQUES, 1978 ; JEREMIE & RAYNAL-ROQUES, 1981 ; JEREMIE & JEUNE, 1991) en raison de difficultés d'échange liées au COVID.

I.3. Autorisations d'échantillonnage

Les échantillonnages en cœur de Parc et sur le foncier du Conservatoire du littoral ont fait l'objet d'autorisations par les autorités compétentes (arrêté n°2022-22, et courrier du Conservatoire en date du 08/04/2022).

Les invertébrés étudiés ne sont pas soumis à la réglementation relative à l'Utilisation d'Animaux à des Fins Scientifiques.

Une autorisation pour l'accès aux ressources génétiques n'était pas nécessaire dans le cadre de cette étude.

II. SELECTION SUR LE TERRAIN

La campagne d'échantillonnage a été réalisée sur deux semaines en fin de saison sèche (avril 2022). Par conséquent de nombreux plans d'eau, en particulier sur Grande Terre, étaient asséchés. Tous les plans d'eau de la pré-sélection (sauf problème d'accès) ont été visités. Nous avons essayé de privilégier les plans d'eau présentant des communautés de macrophytes différentes, les facteurs de répartition des macrophytes et invertébrés pouvant présenter des similitudes importantes (LABAT, 2021). Plusieurs plans d'eau, en particulier sur Grande Terre (dépôts marins), n'ont donc pas été échantillonnés en raison d'une très grande similitude avec d'autres plans d'eau déjà échantillonnés et de leur très faible potentiel (absence de macrophytes, empoisonnement et envasement important, occupation du sol comparable). La majorité des plans d'eau de Basse Terre (alluvions et volcanique), anciens étangs crevetticoles, n'ont pas été échantillonnés en raison de non accessibilité ou d'assecs.

Plusieurs plans d'eau ne faisant pas partie de la pré-sélection ont également été ajoutés. Il s'agit principalement de mares à fort potentiel situées au Nord-Est de Basse Terre (prospection complémentaire fructueuse), et de mares au Sud-Ouest de Grande Terre sur les communes de Sainte Anne et Saint François, identifiés grâce au conseil de l'écologue Joël Rios du bureau d'étude Biotope, qui réalisait un inventaire de la biodiversité des mares sur ces deux communes.

Ce sont au total vingt-six plans d'eau qui ont été échantillonnés, soit six de plus que le maximum prévu lors du dépôt de l'appel à projet (Figure 2).

Parmi cette sélection, on compte 14 plans d'eau sur Basse Terre :

- > Quatre plans d'eau sur le cœur du Parc National : Grand Etang, Etang Zombis, Etang Madère et Etang de l'As de Pique.
- > Quatre plans d'eau du Jardin d'eau (Goyave), souvent anciens plans d'eau crevetticoles, entretenus pour le loisir et l'agrément.
- > Deux anciens plans d'eau crevetticoles (« Bone Nord » et « Bone Est »), qui font encore l'objet d'une gestion hydraulique par le propriétaire.
- > Trois « mares » sur le site de Welche (Nord-Est), à influence haline, dont une échantillonnée dans la mangrove.
- > Une « mare » dans la mangrove située à proximité de l'estuaire de la rivière Forban (Nord-Ouest).

Douze plans d'eau ont été échantillonnés sur Grande Terre, dont :

- > Le marais Gros-Bœuf, à influence haline
- > Deux petites « mares » à influence haline sur le site de Pointe Canot (sud de L'île)
- > Dix plans d'eau situés sur les anciens dépôts marins calcaires, sélectionnés pour leur diversité de profondeur et de cortèges floristiques.

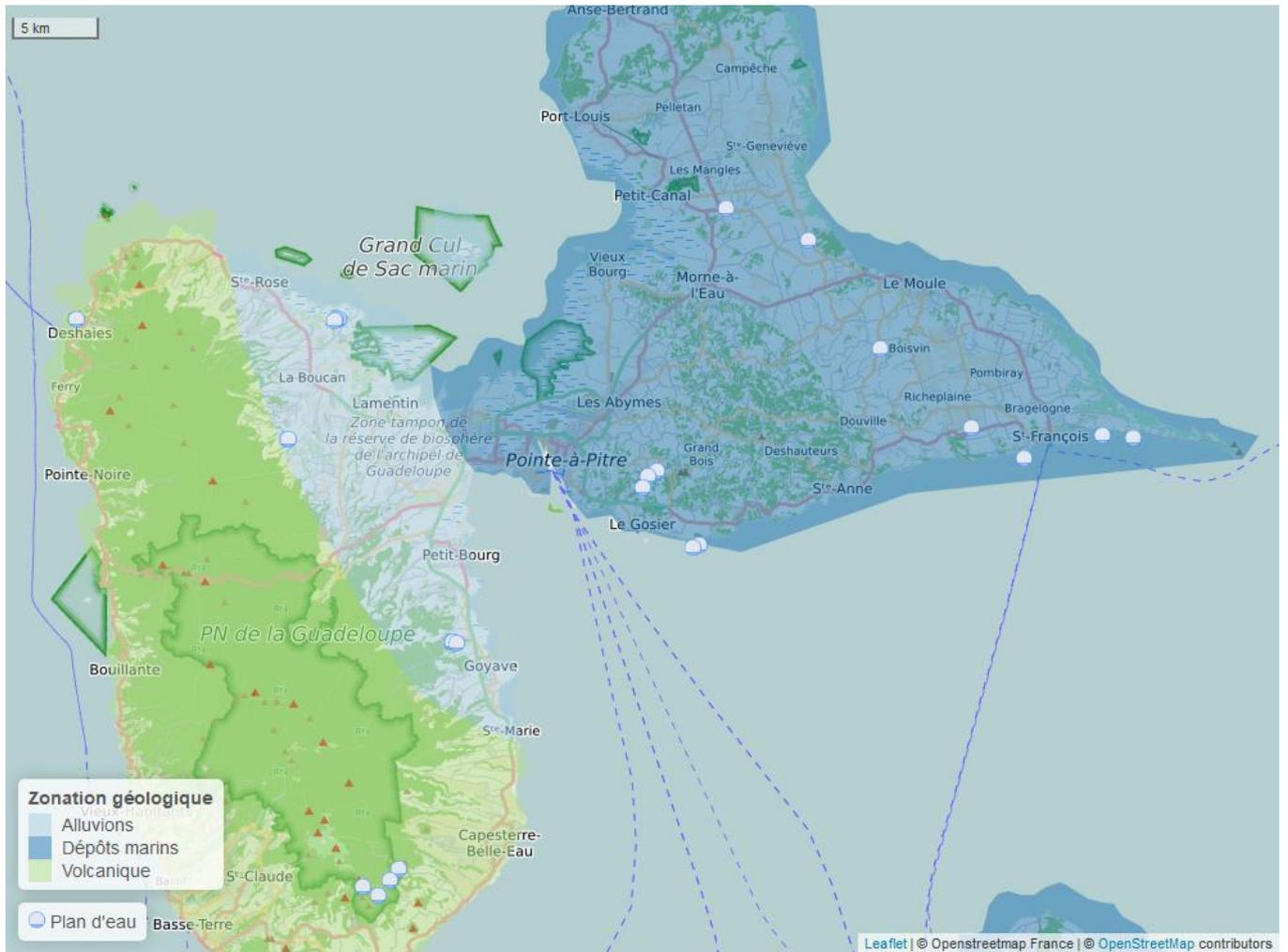


Figure 2- Localisation des 26 plans d'eau échantillonnés

METHODOLOGIE

Les protocoles de relevés des macrophytes et d'échantillonnage des invertébrés ont fait l'objet de publications dans des revues internationales dans le cadre d'une thèse avec l'université de Rennes 1 (LABAT *et al.*, 2022b ; LABAT *et al.*, 2022a).

Ils sont spécifiquement adaptés pour suivre les communautés d'invertébrés et de macrophytes des plans d'eau peu profonds. Les protocoles détaillés sont disponibles à l'adresse <https://become.aquabio-conseil.com/>

Les plans d'eau peu profonds correspondent aux plans d'eau dont la profondeur est suffisamment faible pour (1) permettre une colonisation de la quasi-totalité du plan d'eau par les macrophytes ou (2) provoquer un polymictisme (pas de stratification de la colonne d'eau ou colonne d'eau mélangée indépendamment de la saison sous l'effet du vent) (PADISAK & REYNOLDS, 2003).

Les plans d'eau peu profonds se caractérisent par deux états bien distincts :

- > Un état « clair », fonctionnel, avec des eaux claires, des communautés de macrophytes et d'invertébrés diversifiées
- > Un état « turbide », dysfonctionnel, pouvant provoquer des blooms de cyanobactéries et une banalisation très importante de la faune et de la flore (diminution de la luminosité, disparition des habitats favorables à la faune, problèmes d'oxygénation pendant la nuit, production de toxines...). Cet état peut être pérenne ou saisonnier (SCHEFFER, 2004). Le basculement en état turbide est en général lié (1) à un enrichissement d'origine anthropique en nutriments, (2) l'introduction de poissons fouisseurs ou d'écrevisses invasives, (3) une communauté de macrophytes réduite à absente, liée à des particularités ou à des dégradations morphologiques, et (4) des cataclysmes climatiques.

Le fonctionnement des plans d'eau peu profonds tropicaux reste toutefois assez méconnu. Dans ces milieux, l'état turbide dominé par le phytoplancton peut être remplacé par un état dominé par des plantes à feuilles flottantes (*Pistia*, *Lemna*...) (SCHEFFER & NES, 2007).

I. SUIVI PHYSICO-CHIMIQUES

Le pH et la conductivité ont été mesurés dans chaque plan d'eau avant les relevés biologiques. Ces mesures ont été réalisées loin du bord à 20cm de la surface. Ces paramètres fournissent notamment une indication sur la nature hydrogéologique de chaque plan d'eau et sur les éventuelles influences marines.

II. SUIVI DES MACROPHYTES

II.1. Pourquoi étudier les macrophytes ?

Les macrophytes sont au centre de nombreuses boucles de rétroaction assurant le bon fonctionnement des plans d'eau peu profonds (Figure 2) :

- > Les macrophytes sont l'habitat le plus biogène des plans d'eau peu profonds (SCHEFFER, 2004 ; HANSON *et al.*, 2015). Une communauté diversifiée est donc essentielle au bon fonctionnement des plans d'eau peu profonds.
- > Ils limitent les phénomènes de houle qui peuvent entretenir un état turbide sur les plus grands plans d'eau (SCHEFFER *et al.*, 1993).
- > Ils sont en compétition avec le phytoplancton et le périphyton, empêchant le basculement en état turbide (ZHANG *et al.*, 2018 ; SONG *et al.*, 2019 ; BARROW *et al.*, 2019). Les macrophytes peuvent également empêcher l'apparition de ces blooms en sécrétant des substances allélopathiques (MULDERIJ *et al.*, 2007), qui limitent la croissance de certaines algues ou végétaux.

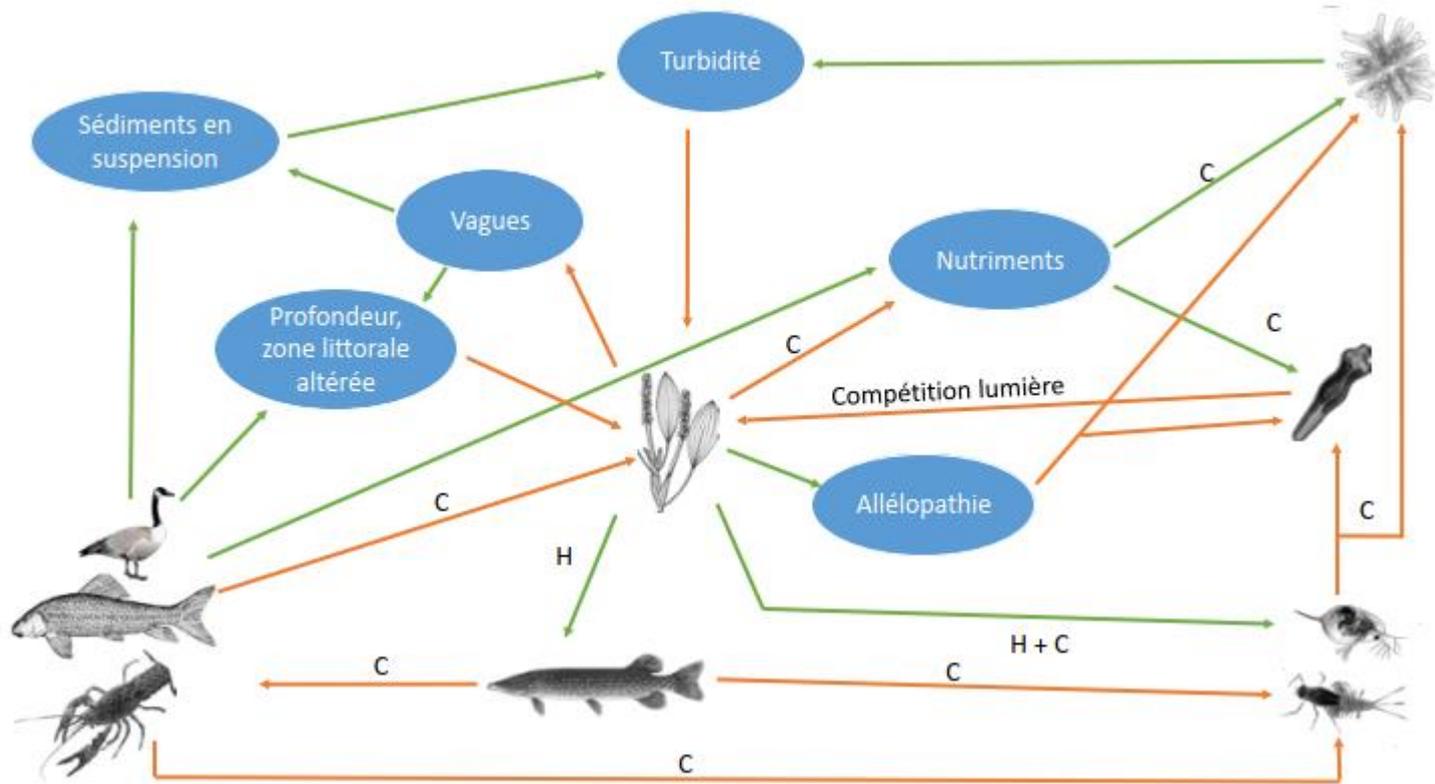


Figure 2. Synthèse des boucles de rétroaction régissant le fonctionnement des plans d'eau peu profonds et induisant les « équilibres stables ». Les macrophytes sont le régulateur principal du bon fonctionnement des plans d'eau peu profonds. Ils sont au centre de nombreuses boucles de rétroaction assurant la stabilité fonctionnelle du plan d'eau. Flèches vertes = effet amplifiant, flèches orange = effet restrictif. C = consommation, H = habitat. Par exemple, les macrophytes diminuent l'effet des nutriments en les consommant, et améliorent la capacité d'accueil de certains poissons piscivores. Certains oiseaux d'eau altèrent la communauté de macrophytes en les consommant, augmentent l'altération des berges en les piétinant et augmentent les sédiments en suspension en circulant dans le plan d'eau (source : SCHEFFER (2001); modifié Labat, 2021).

II.2. Méthode d'échantillonnage et de traitement au laboratoire : protocole S₃m (LABAT et al., 2022b)

Ce protocole est une adaptation de la méthode PSYM (Grande-Bretagne (SHELLEY, 2009)) et de la norme XPT90-328 (Échantillonnage des communautés de macrophytes en plans d'eau (AFNOR, 2010)) aux plans d'eau de superficie inférieure à 50ha.

Cette méthode est principalement basée sur l'observation des communautés macrophytiques des plans d'eau avec identification des taxons, estimation de leur abondance et prélèvements éventuels d'échantillons pour vérification. Les algues filamenteuses ne sont pas échantillonnées, en raison d'une trop grande variabilité temporelle des communautés sur ces milieux (TAROZZI, 2014).

La mise en place de transects ou d'unités d'observation n'a pas été retenue, car moins représentative et plus lente à mettre en œuvre sur les petits plans d'eau, très hétérogènes (LABAT, 2015 ; LABAT *et al.*, 2022).

Le relevé inclut tous les taxons des macrophytes présents dans l'eau ou atteignant la limite de plus hautes eaux avec leur abondance à l'échelle de la zone observée. L'abondance est notée sous la forme d'indice de recouvrement (AFNOR, 2010, Tableau 3).

Tableau 3 - Évaluation de l'indice de recouvrement des macrophytes

Indice de recouvrement R	Description
1	Quelques pieds
2	Quelques petits herbiers
3	Petits herbiers assez fréquents
4	Grands herbiers discontinus
5	Herbiers continus

Tous les taxons dont la détermination *in situ* est hasardeuse sont prélevés pour être déterminés au laboratoire. Les espèces du genre *Paspalum* ont été laissées au genre afin de ne pas créer de biais statistique. Ces espèces ont été difficiles à différencier sur le terrain, avec des inflorescences souvent rares, et pouvant constituer des mélanges.



Figure 3 - Identification *in situ* des macrophytes et mise en flacon des taxons non identifiables sur le terrain

III. SUIVI DES INVERTEBRES

III.3. Pourquoi étudier les invertébrés ?

Les plans d'eau sont des pièges à matières : s'ils ne disposent pas d'un édifice trophique complexe assurant la dégradation, le recyclage, l'exportation ou le maintien dans la chaîne alimentaire de la matière organique, celle-ci s'accumule plus rapidement, entraînant des dysfonctionnements ou un comblement plus rapide du plan d'eau.

- > Les invertébrés occupent la quasi-totalité des niches trophiques des plans d'eau (Figure 4). Ils participent très largement au recyclage et à la dégradation des matières organiques vivantes et mortes, et contrôlent le développement de l'épiphyton qui peut contribuer au basculement en état turbide (COVICH *et al.*, 1999 ; JONES & WALDRON, 2003). L'analyse de l'édifice trophique des invertébrés permet d'obtenir une image de ce dont ils se nourrissent : matières organiques mortes, phytoplancton, zooplancton, périphyton, et même une partie des vertébrés. Leurs cycles de vie sont de plusieurs mois à plusieurs années. Ils sont donc une expression synthétique du fonctionnement trophique global du plan d'eau sur plusieurs mois.
- > Certains insectes aquatiques ont la capacité de voler et peuvent quitter le plan d'eau. Ils sont donc une source d'exportation potentielle de matière organique susceptible de ralentir l'enrichissement et le comblement du plan d'eau (GRATTON *et al.*, 2008 ; BARTRONS *et al.*, 2018). Cette exportation est plus importante pour les espèces qui ne sont aquatiques qu'à l'état larvaire, ces dernières n'y retournant que pour pondre. Ces insectes sont largement consommés par de nombreux vertébrés et insectivores, dont de nombreuses espèces à fortes valeurs patrimoniales (oiseaux, chauves-souris, odonates adultes...) (WALTERS *et al.*, 2008 ; HOLLAND *et al.*, 2018).

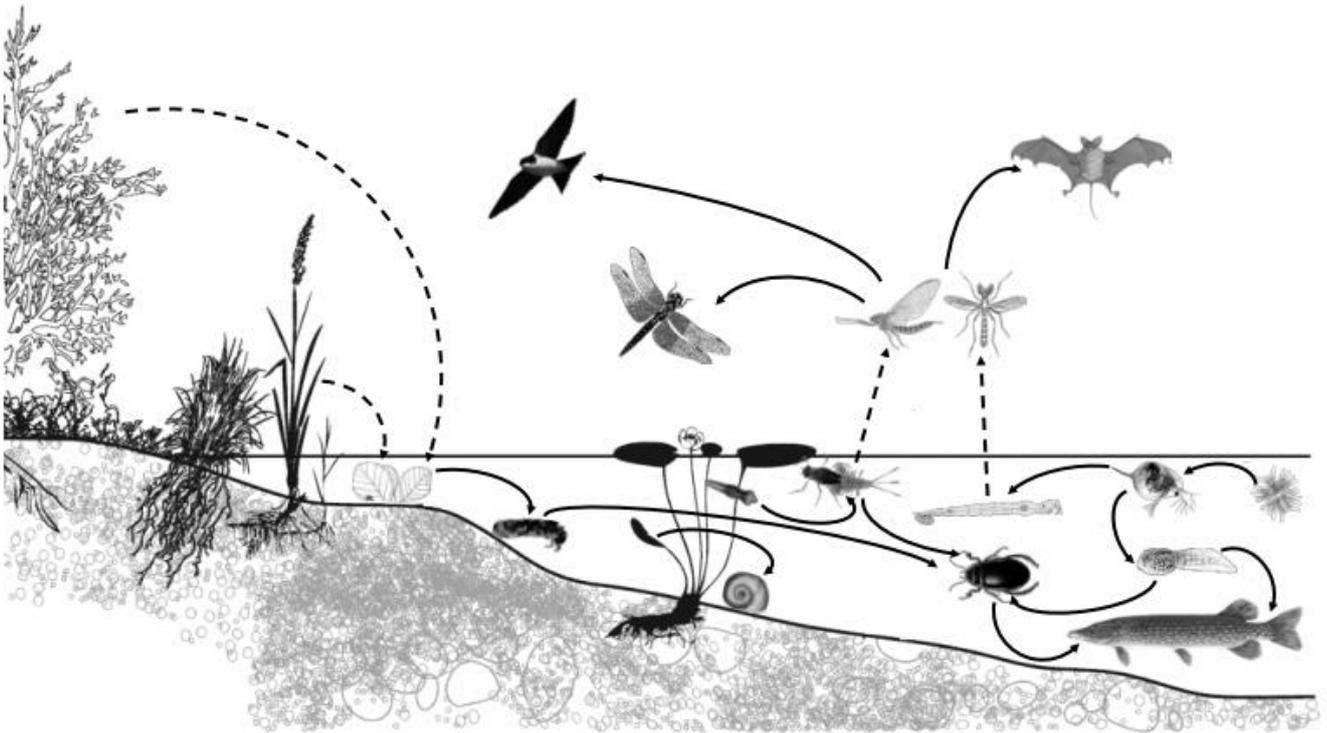


Figure 4 - Réseau trophique simplifié des SSL et interactions entre milieu aquatique et espèces terrestres. Flèches pleines = interactions trophiques, flèches pointillées = import ou diffusion de matières organiques (adapté de BAXTER *et al.*, 2005 ; OERTLI & FROSSARD, 2013). De par la très grande diversité de leurs modes alimentaires, les invertébrés occupent de très nombreuses niches trophiques, contribuant ainsi à la stabilité de l'écosystème. Les émergences ou migrations d'insectes aquatiques sont une modalité essentielle de l'exportation des matières organiques vers les écosystèmes terrestres avoisinants (source : LABAT, 2021)

III.4. Méthode d'échantillonnage et de traitement au laboratoire : protocole S₃i (LABAT *et al.*, 2022a)

L'échantillonnage repose sur la définition de grandes catégories d'habitat, identifiées sur le terrain lors de la prospection macrophytes. Tous les habitats présents sont échantillonnés. Le nombre d'échantillons élémentaires peut varier de 2 à 12.

Les prélèvements sont réalisés au filet haveneau. Les supports déposés (sables, vases...), sont échantillonnés sur une superficie de 3* 0,05 m². Les autres habitats sont généralement échantillonnés à l'aide d'une technique « troubleau » sur environ 1 m².

Le matériel est régulièrement désinfecté à l'éthanol à 70 % afin d'éviter au maximum les risques de contamination entre plans d'eau.

Les échantillons sont ensuite étiquetés individuellement et stabilisés avec une solution d'éthanol.

Les macro-invertébrés sont ensuite triés et déterminés par échantillon élémentaire au laboratoire selon les exigences de la norme XPT90-388, avec quelques différences sur les niveaux d'identification, fournies dans le livret guide (LABAT, 2020), c'est-à-dire en général au genre. Cette résolution taxonomique a été validée par le biais d'une publication dans une revue internationale (LABAT, 2017). Toutefois, dans le cadre de cette étude, nous avons identifié systématiquement au niveau de l'espèce les taxons non signalés en Guadeloupe, ainsi que les Hémiptères et les Coléoptères, lorsque cela était possible.



Figure 5 - Echantillonnage des invertébrés dans une des mares de la Guadeloupe

IV. ANALYSE DE LA DIVERSITE DES COMMUNAUTES DE MACROPHYTES ET D'INVERTEBRES

La spécificité des sites suivis a été examinée à travers les indices de contribution basés sur la richesse taxonomique, développés par LU *et al.*, (2007). Ces indices permettent de mesurer l'apport à la diversité régionale de chaque site en termes de richesse taxonomique, tels que :

- > La diversité α correspond au rapport entre la richesse taxonomique du site et la richesse totale (tous sites confondus). Plus sa valeur est élevée, plus la contribution du site (en nombre d'espèces) est élevée.
- > La diversité β correspond au nombre moyen de taxons que l'on ne retrouve pas dans les autres milieux. Plus sa valeur est élevée, plus la spécificité du site (en termes d'apport de taxons originaux) est élevée.
- > La diversité γ correspond à la somme des diversités α et β . Plus sa valeur est élevée, plus le site contribue à la diversité « régionale ».

La diversité β a également été examinée d'un point de vue plus qualitatif à l'aide d'une classification hiérarchique suivant les modalités décrites en §Introduction I.1. Cette classification a été illustrée sous forme de dendrogramme. Afin d'identifier les espèces indicatrices au sein de chaque groupe, une analyse indval (DE CACERES *et al.*, 2010) a été réalisée, mais les résultats ne sont pas présentés ici faute d'espèce indicatrice identifiée pour chaque groupe (en raison d'un nombre de plans d'eau insuffisant pour réaliser une telle analyse). Ce résultat s'explique par le faible nombre de plans d'eau et par les pressions anthropiques présentes sur la plupart des plans d'eau. En effet, une telle analyse requiert habituellement une analyse sur les plans d'eau de référence ou très peu impactés (e.g. LABAT *et al.*, 2021).

V. COMPARAISON AVEC LA FRANCE CONTINENTALE ET DEVELOPPEMENT D'UN INDICATEUR

Ces analyses n'ont pas été possibles en raison de la forte anthropisation de la Guadeloupe et du faible nombre de plans d'eau échantillonné

En effet, ces analyses requièrent la présence de plans d'eau de référence en quantité suffisante, a minima pour chaque type géologique :

- > Les pressions anthropiques étant très variables d'un plan d'eau à l'autre, et celles-ci modifiant les communautés, il n'est pas possible de distinguer l'influence des facteurs environnementaux naturels des facteurs anthropiques sur un petit jeu de données.
- > Ces plans d'eau sont nécessaires afin de définir des valeurs voire des modèles de référence.

Nous avons néanmoins prévu de tester les derniers modèles prédictifs développés pour l'indice BECOME (LABAT & USSEGLIO-POLATERA, subm.) lorsqu'ils seront validés par la communauté scientifique.

Ces modèles permettent de prédire pour chaque plan d'eau les valeurs de référence des 11 métriques composant l'indice à partir de 10 variables environnementales (e.g. altitude, précipitations, température, ombrage, profondeur moyenne, connectivité à un cours d'eau...).

Ces modèles ont toutefois peu de chance de fonctionner pour la Guadeloupe, en raison des effets de l'insularité et du climat très différent du jeu de données ayant servi à les développer.

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats par station (fiches stations) sont fournis en annexe.

I. CLE D'IDENTIFICATION DES INVERTEBRES

La clé d'identification des invertébrés est fournie en annexe. Il s'agit d'une mise à jour de la clé proposée dans l'atlas des invertébrés des cours d'eau de Guadeloupe et Martinique (BERNADET *et al.*, 2014). Les illustrations des critères d'identification des taxons non inclus dans cet atlas ont été réalisés dans le cadre de cette étude. Quelques rares illustrations provenant de EPLER (1996) pour les Coléoptères aquatiques sont néanmoins présentes.

La plupart des critères proposés reposent sur des critères existants dans la littérature (e.g. EPLER, 2010 ; HAMADA *et al.*, 2018), mais certains autres, principalement des stades larvaire ou juvéniles non décrits, sont issus de l'observation de spécimens récoltés dans le cadre de cette étude.

Les modifications principales concernent :

- > Les Coléoptères, avec l'ajout de la quasi-totalité des Gyrinidae (trois espèces contre une), Dytiscidae (quatorze taxons contre un), Noteridae (six taxons contre zéro), Hydrophilidae (neuf taxons contre deux), Curculionidae (une espèce contre zéro), les Scirtidae (quatre genres contre zéro) et les Haliplidae (un genre contre zéro).
- > Les Hétéroptères avec 19 taxons contre 16. Des critères ont également été ajoutés pour différencier les taxons aux stades juvéniles.
- > Les Anisoptères avec 18 taxons contre 5. Il s'agit par ailleurs d'une révision majeure de la clé des exuvies de MEURGEY & PICARD (2011), pour laquelle la majorité des critères ne permettait pas d'identifier convenablement les larves. Pour réaliser cette nouvelle clé, nous nous sommes basés sur la clé des larves d'Odonates d'Amérique du Nord (J. TENNESSEN, 2019), ainsi que sur les descriptions originales des larves des espèces présentes en Guadeloupe.

II. NOUVEAUX TAXONS POUR LA GUADELOUPE

Cette étude a permis d'identifier 26 nouveaux taxons pour la Guadeloupe voire pour le territoire français :

- > Le Bryzoaire *Plumatella casmiana*



Figure 6 – Colonie de *Plumatella casmiana* et statoblaste (en bas à droite). ©Aquabio

Première citation de Bryzoaire d'eau douce dans les Antilles Françaises. Il s'agit d'un animal colonial, à distribution holarctique, et déjà signalé en 1955 dans d'autres îles des Antilles (LACOURT, 1955).

Chaque individu est appelé zoïde. Il vit dans une zoécie, ici un tube chitineux, qui, à l'échelle de la colonie, possède une forme arbusculaire, fixée sur un support (une plante, une branche, une pierre...). À gauche, une colonie vivante, à droite, une colonie morte, où seul le tube chitineux et les statoblastes - petites structures ovales- sont visibles par transparence. Les statoblastes sont des propagules spécifiques à certaines espèces de Bryozoaires. Il s'agit d'un tissu germinatif protégé par deux valves chitineuses, qui permet aux Bryozoaires de se disperser et de résister aux perturbations. BROWN (1933) a estimé qu'une colonie de *Plumatella* sur un Potamot pouvait produire 80 000 statoblastes. Ces statoblastes sont notamment transportés par les oiseaux d'eau via leur système digestif.

OKAMURA *et al.* (2019) ont estimé que ces oiseaux pouvaient disperser les Bryozoaires sur plusieurs centaines voire milliers de kilomètres. Chaque zoïde est composé de deux parties : une cystide et un polype, équipé de tentacules qui lui servent à capturer des particules et des microorganismes. Les *Plumatella* sont fréquentes dans le monde entier, principalement dans les plans d'eau et dans les cours d'eau chargés en matières en suspension, nécessaires à leur alimentation. L'espèce a été trouvée dans une mare de Grande Terre.

> Les Achètes *Helobdella stagnalis* et *H. triserialis*



Figure 7 - A : *Helobdella triserialis*, B: *Helobdella stagnalis*. ©Aquabio

Il s'agit de deux espèces de sangsues fréquentes et largement réparties sur tout le continent américain (*H. stagnalis* est cosmopolite). *H. stagnalis* se nourrit des fluides et de tissus mous d'une grande diversité d'invertébrés aquatiques : Oligochètes, Diptères, Crustacés et Mollusques aquatiques (YOUNG, 1980), tandis que *H. triserialis* se nourrirait exclusivement de Gastéropodes aquatiques (KUTSCHERA, 2004). Les Achètes sont très peu étudiés dans les Antilles. Ces deux espèces ont néanmoins été signalées de Puerto Rico (SAWYER & KINARD, 1980 ; ROGERS & CRUZ-RIVERA, 2021).

> Le Coléoptère Dytiscidae *Liodessus noviaffinis*



Figure 8 - Imago de *Liodessus noviaffinis*.
©Aquabio

Cité pour la première fois sur le territoire français. Cette espèce était connue à ce jour de la côte est des USA (principalement Texas et Floride), des Bahamas et de Cuba. Les espèces du genre *Liodessus* font généralement moins de 3mm, et sont surtout des espèces de milieu lotique. Nous avons capturé *L. noviaffinis* en cœur de Parc, dans l'étang Madère. Cet étang était proche de l'assec, avec une très faible lame d'eau qui s'écoulait très légèrement dans une zone très végétalisée depuis son afférent. L'identification de cette espèce à l'aide des édéages est indispensable, le genre ayant fait l'objet de nombreux remaniements récents.

> Le Coléoptère Brachyceridae *Lissorhoptrus mexicanus*



Figure 9 - Imago de *Lissorhoptrus mexicanus* et son édéage (en bas à droite). ©Aquabio

Il s'agit d'un petit coléoptère de la vaste famille des Brachyceridae, composée principalement d'espèces terrestres. Les Brachyceridae sont phytophages : ils se nourrissent, tant à l'état larvaire qu'à l'état adulte, d'une plante ou d'un groupe de plantes qui leur est propre. *L. mexicanus* est déjà connu de Martinique, ou encore du Mexique et du Guatemala (KUSCHEL, 1951 ; TOUROULT *et al.*, 2021). Il se nourrirait de Poacées, et nous l'avons rencontré sur plusieurs mares de Guadeloupe hors cœur du Parc colonisées par des *Paspalum*. Les espèces du genre *Lissorhoptrus* présentent deux rangées de longues soies natatoires sur le tibia de la 2ème paire de pattes.

> Le Coléoptère Noteridae *Mesonoterus laevicollis*



Figure 10 - Imago de *Mesonoterus laevicollis*.
©Aquabio

Il s'agit de la première citation du genre et de l'espèce pour les Antilles Françaises. *M. laevicollis* est une espèce largement répartie en Amérique centrale (NILSSON, 2011). *M. laevicollis* était déjà connu des Antilles (Cuba). Comme la majorité des Noteridae tropicaux, c'est une espèce qui affectionne les marges très peu profondes et très végétalisées des milieux stagnants.

> Le Coléoptère Hydrophilidae *Hydrophilus ensifer*



Figure 11 - Imago d'*Hydrophilus ensifer*, et détail des sternites. ©Aquabio

Il s'agit du deuxième plus gros Coléoptère aquatique de la Guadeloupe après *Hydrophilus insularis*. Il se distingue notamment de ce dernier par une plage imberbe ventrale dont la marge antérieure n'est pas parallèle à la marge postérieure des segments abdominaux. Citée pour la première fois des Antilles françaises, l'espèce est largement répartie en Amérique tropicale, et notamment en Guyane française (REGIMBART, 1832), Floride (EPLER, 2010), Mexique (ARCE-PEREZ & MORON, 2013) et Bahamas (TURNBOW & THOMAS, 2008). Un individu a été capturé sur le site de Welche, au nord-est de Basse Terre.

> Le Coléoptère Hydrophilidae *Helobata larvalis*



Figure 12 - Imago de *Helobata larvalis*.
©Aquabio

H. larvalis est largement répartie en Amérique tropicale. Elle n'était connue des Caraïbes que de Cuba (CLARKSON *et al.*, 2016) et des Bahamas (TURNBOW & THOMAS, 2008). Un seul individu a été capturé, sur le site de Welche, au nord-est de Basse Terre. Les espèces du genre *Helobata* sont généralement rares. Elles vivent dans les marais et les mares, en petit nombre (CLARKSON *et al.*, 2016).

> Les Coléoptères Hydrophilidae *Enochrus pseudochraceus* et *E. ochraceus*



Enochrus pseudochraceus est probablement l'*Enochrus* le plus commun des Antilles. Il était déjà signalé de Guadeloupe, mais absent des bases de données nationales (GUNDERSEN, 1977). Nous l'avons observé sur six plans d'eau, principalement des plans d'eau à influence haline. *E. ochraceus* est connu des grandes îles des Antilles, de Floride et du Mexique (SHORT, 2004). Il n'a été observé que sur le site de Welche, au nord-est de Basse Terre.

Figure 13 – Imagos de A : *Enochrus ochraceus* et B : *E. pseudochraceus*, ainsi que leurs édéages. Les différences de couleur sont surtout liées à des différences d'éclairage lors de la prise de vue, *E. ochraceus* est à peine plus clair. ©Aquabio

> Les Coléoptères Hydrophilidae *Paracymus confusus* et *P. lodingi*



P. confusus est connue de Floride (Epler, 2010), du Mexique (WOOLDRIDGE, 1966), des Bahamas (TURNBOW & THOMAS, 2008) et de nombreuses îles des Antilles (Peck, 2011). C'est le *Paracymus* qui domine dans les échantillons (sept plans d'eau). *P. lodingi*, plus rare (site de Welche et un des bassins du Jardin d'eau), se reconnaît facilement à ses élytres largement bordés de jaune. Il est connu de Floride (EPLER, 2010) et des Bahamas (TURNBOW & THOMAS, 2008).

Figure 14 - Imagos de A : *Paracymus confusus* et de B : *P. lodingi*. ©Aquabio

> Le Diptère Tipulidae *Maekistocera longipennis*



Figure 15 - Larve de *Maekistocera longipennis* et son disque caudal (en bas à droite). ©Aquabio

Première citation pour le territoire français. Le genre *Maekistocera* est représenté dans le monde par deux espèces : *M. longipennis* (Sud des États-Unis, Amérique Centrale, Amérique du Sud) et *M. filipes* (avec deux sous-espèces, l'une avec une large répartition afro-tropicale, l'autre en Asie tropicale-Océanie). La biologie de la larve de *M. longipennis* a été décrite par ROGERS (1949). Aquatique, elle affectionne les milieux stagnants très peu profonds riches en débris végétaux. Elle sélectionne une tige de plante creuse pour s'en servir de fourreau. Ce fourreau doit flotter proche de la surface, être en forme de tube ouvert aux deux extrémités, d'1-3 fois la longueur de la larve, avec un trou d'environ deux fois le diamètre de la larve étendue. Seul le disque caudal est sorti et positionné à la surface de l'eau pour permettre à la larve de respirer. Elle le rentre dans le fourreau pour pouvoir se nourrir de brins d'algues et végétaux flottants. Nous avons capturé plusieurs larves sur une mare de Grande Terre très végétalisée et chargée en débris végétaux (mare à Boire).

> Les Diptères Dolichopodidae *Paraclius filifer* et *Xanthina* sp.



Figure 16 - Imago de *Paraclius filifer*. ©Aquabio

Paraclius filifer a été décrite de St Vincent en 1896 (WILLISTON *et al.*, 1896). Elle est largement répartie en Amérique Centrale (Etats Unis, Mexique, Dominique (ROBINSON, 1975)). Un unique imago mâle a été capturé accidentellement dans la mare à Boire. La plupart des Dolichopodidae ont des larves présentant de fortes affinités à l'eau. Les Dolichopodidae sont des petites mouches prédatrices se nourrissant en général d'autres Diptères. Un individu de Dolichopodidae du genre *Xanthina*, peut-être nouveau pour la science, a également été trouvé sur une des mares halines de Pointe Canot.

La diversité des Diptères aquatiques ou dépendants des milieux aquatiques de Guadeloupe reste à ce jour largement sous-étudiée (dans les Antilles et plus largement en Amérique centrale). Il s'agit d'un ordre très difficile à étudier. Ainsi, des larves de plusieurs familles identifiées dans le cadre de cette étude comme les Tabanidae ou les Stratiomyidae ne semblent pas disposer d'espèces déjà citées en Guadeloupe. Aucun entomologiste ne semble avoir cherché à décrire les stades larvaires des espèces présentes en Amérique centrale (alors qu'en Europe, une identification à l'espèce depuis les larves est possible pour ces familles). Quelques captures accidentelles d'imagos d'Ephydriidae ont également été trouvés dans les échantillons, mais n'ont pas fait l'objet d'identification faute de littérature suffisante et disponible.

> L'Odonate Aeshnidae *Gynacantha nervosa*



Figure 17 - Larve de *Gynacantha nervosa* et détail du masque avec les soies caractéristiques de l'espèce. ©Aquabio

Déjà signalée en Martinique (Meurgey & Poiron, 2012), *G. nervosa* est largement répartie du Sud-Est des Etats-Unis au Brésil, et est présente dans plusieurs îles des Antilles (MEURGEY & PICARD, 2011). En raison de ses capacités de dispersion, sa présence en Guadeloupe était probable. C'est une espèce forestière, observée sur très peu de plans d'eau en Martinique. L'absence d'observation sur l'île, malgré les nombreux inventaires réalisés pour les Odonates, est probablement liée à la rareté des plans d'eau forestiers en Guadeloupe et à la faible accessibilité du ou des sites où l'espèce peut être rencontrée, ce qui limite les possibilités d'observations pour cette espèce crépusculaire. Une seule larve a été trouvée, sur l'étang Madère.

> L'Hémiptère Corixidae *Trichocorixa reticulata*



Figure 18 – Imagos de *Trichocorixa verticalis* (à gauche) et *T. reticulata* (à droite). ©Aquabio

T. reticulata a déjà été signalée des Antilles Françaises, en Martinique (NIESER, 1969). Il s'agit d'une espèce halophile, que l'on peut trouver dans des mares avec des conductivités élevées à proximité de la mer, voire dans des mangroves. *T. verticalis*, citée pour la première fois de Guadeloupe en 2022 (GARGOMINY *et al.*, 2022), occupe le même type de milieu mais semble plus fréquente : nous l'avons observée sur quatre sites : deux sites de Welche (Nord-Est de Basse Terre) et deux sites de la Pointe Canot (Sud de Grande Terre). *T. reticulata* a été capturée en grande quantité dans une seule mare de mangrove, séparée de la mer par un petit cordon dunaire à proximité de l'embouchure de la rivière Forban (Nord-Ouest de Basse Terre).

> L'Hémiptère Corixidae *Ramphocorixa rotundocephala*



Figure 19 - Imago de *Ramphocorixa rotundocephala*. ©Aquabio

R. rotundocephala est largement répartie sur tout le continent américain (PIMIENTO-ORTEGA *et al.*, 2021) et est connue de plusieurs îles des Antilles (NIESER, 1969). Toutefois, il s'agit d'une espèce peu fréquente (PEREZ, 2012 ; PIMIENTO-ORTEGA *et al.*, 2021). Un seul individu a été observé sur une seule mare de Grande Terre.

> L'Hémiptère Mesoveliidae *Mesovelia amoena*



Figure 20 - Imago de *Mesovelia amoena*.
©Aquabio

M. amoena est beaucoup moins fréquente sur l'île que *Mesovelia mulsanti*, déjà connue de Guadeloupe. Elle s'en distingue par une taille nettement plus petite, l'absence d'épines sur la marge postérieure des fémurs antérieurs et moyens, et par une coloration légèrement plus sombre. Elle a été trouvée sur l'étang de l'As de Pique ainsi que sur une des mares au nord-est de Basse Terre (Welche), alors que *M. mulsanti* a été observée sur 12 plans d'eau. L'espèce est connue de Martinique et de Guyane (GARGOMINY *et al.*, 2022), et possède une vaste répartition sur le continent américain (ARISTIZABAL GARCIA, 2016).

> L'Hémiptère Veliidae *Microvelia paludicola*



Figure 21 - Imago de *Microvelia paludicola*. ©Aquabio

Moins fréquente en Guadeloupe que sa cousine *Microvelia pulchella* (7 sites), elle est déjà connue de Cuba (PEREZ, 2012), de Jamaïque (DRAKE & HUSSEY, 1954), de Martinique et de Guyane (GARGOMINY *et al.*, 2022). Elle se différencie de *M. pulchella* par les métafémurs du mâle droits (légèrement arqués chez *M. pulchella*), et d'autres *Microvelia* potentiellement présents en Guadeloupe par un premier segment de l'édéage dépourvu de soies. C'est une espèce ripicole, observée sur l'Etang Madère et sur une mare de Grande Terre.

> L'Hémiptère Veliidae *Steinovelina stagnalis*



Figure 22- Imago mâle de *Steinovelina stagnalis*. ©Aquabio

Le genre *Steinovelina* a fait l'objet d'une révision récente (MOREIRA *et al.*, 2020 ; RODRIGUES *et al.*, 2022). *S. stagnalis* est principalement connu d'Amérique du Nord. Dans les Antilles, elle est déjà signalée de Cuba. Le genre (sans identification à l'espèce) était déjà signalé d'inventaires de la Directive Cadre sur l'Eau.

> L'Hémiptère Hebridae *Hebrus consolidus*



Figure 23 - Imago de *Hebrus consolidus*. ©Aquabio

Connu d'Amérique Centrale (DRAKE & COBBEN, 1960), et de plusieurs grandes îles des Antilles (DE KORT-GOMMERS & NIESER, 1969 ; NARANJO *et al.*, 2010 ; LANIGAN & HYSLOP, 2011). Ce petit Hémiptère ripicole a été observé sur le marais Gros Bœuf.

> L'Hémiptère Saldidae *Saldula dentulata*



Figure 24 - Imago de *Saldula dentulata*.
©Aquabio

Première citation de cette famille pour les Antilles françaises. *S. dentulata* est une espèce non aquatique, strictement ripicole. Capturée sur trois plans d'eau à influence haline, elle pourrait être présente au bord de toutes les pièces d'eau associées aux mangroves. Elle est connue de Grenade, du Brésil (COBBEN, 1960) et de Panama (LARIVIERE & LAROCHELLE, 2019).

> L'Hémiptère Gerridae *Trepobates taylori*



Figure 25 – Imago de *Trepobates taylori* ©Aquabio

Le genre *Trepobates* a déjà été trouvé dans les échantillons des suivis de la Directive Cadre sur l'Eau sans qu'une identification au niveau de l'espèce ait été réalisée (BERNADET *et al.*, 2014). *T. taylori* est l'espèce la plus répandue des Antilles (ARISTIZABAL GARCIA, 2016). L'espèce a été rencontrée sur deux plans d'eau du jardin d'eau et sur Grand Etang.

Note synonymique : l'Hémiptère *Belostoma boscii*, signalée de Guadeloupe, est un synonyme de *B. anurum* (RIBEIRO, 2007). Les *B. anurum* identifiés dans le cadre de cette étude ne sont donc pas une nouvelle citation pour la Guadeloupe. Des *Belostoma* immatures ont été capturés sur de nombreux plans d'eau et n'ont pas pu être identifiés au niveau de l'espèce.

> Les Lépidoptères aux larves aquatiques Crambidae des genres *Neargyractis* et *Elophila*



Figure 26 - Chenille de *Neargyractis*. ©Aquabio

humboldtiana.

Les chenilles des genres *Neargyractis* et *Elophila*, inconnus des Antilles Françaises, ne sont pas identifiables au niveau de l'espèce. Le genre *Neargyractis* n'a jamais été signalé sur le territoire français. Au moins trois espèces de *Neargyractis* sont connues dans cette aire géographique (de Cuba, Puerto-Rico et Floride) (HABECK, 1988 ; NUÑEZ & BARRO CAÑAMERO, 2012). La chenille du papillon *Neargyractis* se nourrirait principalement de jeunes racines de plantes, et fabriquerait un fourreau grossier de racines pour se protéger. Une seule espèce du genre *Elophila*, *E. oblitalis*, est connue des Antilles (Cuba) (NUÑEZ & BARRO CAÑAMERO, 2012). Sa chenille se nourrit de *Nymphoides* (TOMASKO *et al.*, 2022). *Neargyractis* a été trouvé sur une des mares du Jardin d'eau, tandis qu'*Elophila* a été trouvé sur une mare de Grande Terre avec un recouvrement important de *Nymphoides*

III. DIVERSITE DES COMMUNAUTES DE MACROPHYTES ET D'INVERTEBRES DES PLANS D'EAU DE GUADELOUPE

III.1. Communautés d'invertébrés

Le nombre de taxons inventoriés sur l'ensemble des plans d'eau est de 143. La richesse par plan d'eau est comprise entre trois (mangrove de Welche) et quarante-six taxons (Welche Ouest et mare de Saint Bernard (Tableau 4). La mangrove de Welche est de loin le site le plus pollué (très forte odeur de fermentation, nombreux déchets dont batterie de voiture), avec une communauté très peu diversifiée, très largement dominée par des larves de Syrphidae habituellement trouvées dans des lisiers et autres excréments liquides, et caractéristiques d'une très forte charge en matières organiques.

Les plans d'eau du cœur du parc sont plutôt peu riches en invertébrés, entre onze (Etang Zombis) et vingt-cinq taxons (Grand Etang). A noter que la richesse taxonomique de l'Etang Zombi est probablement sous-estimée, l'échantillonnage n'ayant pas pu être réalisé convenablement en raison des difficultés d'accès au tour de l'étang et de la profondeur ne permettant pas une prospection pédestre.

III.1.1. Analyse des richesses et diversités par site et intersites

Les plans d'eau contribuant le plus à la diversité des invertébrés sont Sikrye-ka ($\gamma = 14.18$), Welche ouest ($\gamma = 12.02$), Ravine Deville ($\gamma = 10.88$) et la mare de St Bernard ($\gamma = 9.8$), suivis de deux plans d'eau du cœur du Parc : Grand Etang et Etang Madère ($\gamma = 7.83$ et 7.68 respectivement).

Le plan d'eau de Sikrye-ka se caractérise par une grande superficie et une profondeur assez importante, avec un étalement des eaux sur des zones très peu profondes favorable notamment aux Noteridae (5 genres), ainsi que des herbiers denses originaux dans les zones profondes permettant la présence de taxons également originaux (e.g. la chenille *Elophila* et le Culicidae *Mansonia*, tous deux associés à *Nymphoides*). La présence d'herbiers denses dans les zones peu profondes et profondes permet également à de nombreuses espèces de s'installer malgré la présence de poissons et le contexte agricole.

Le site de Welche a également apporté de nombreux taxons uniques à l'échelle des sites échantillonnés dans le cadre de cette étude. Nombre d'entre eux sont de nouveaux taxons pour la Guadeloupe et souvent les Antilles françaises. Ce site présente un intérêt unique à l'échelle des deux principales îles de la Guadeloupe. C'est un complexe de plans d'eau plus ou moins influencés par la mangrove à proximité directe, et plus ou moins interconnectés selon les saisons, avec des richesses qui semblent très dépendantes de la conductivité. Ainsi, « Welche ouest » possède 46 taxons pour une conductivité de $2\,200\ \mu\text{S}/\text{cm}$, « Welche est » possède 23 taxons pour une conductivité de 7900 , et « Welch mangrove » possède 3 taxons pour une conductivité de $51\,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$. Une démarche de conservation, incluant notamment une dépollution du site et la création de mares augmentant la complexité du gradient de conductivité inter-mares pourrait permettre de garantir et améliorer l'intérêt de ce site sur le long terme.

Les communautés du cœur du Parc semblent présenter des taxons originaux, tels que *Oecetis knutsoni*, *Caenis femina*, *Gyretes morio* et *Gyrinus rugifer*. Ces communautés mériteraient toutefois d'être confrontées à celles des cours d'eau, car il pourrait s'agir d'espèces plutôt banales en cours d'eau, caractéristiques de milieux intermédiaires (vitesses de courant, température et oxygénation) entre cours d'eau et plans d'eau. Ainsi, *O. knutsoni*, *C. femina* et *G. morio* ont été observés respectivement sur 16, 71 et 16% des cours d'eau qui ont servi à rédiger l'Atlas des invertébrés des cours d'eau Guadeloupe et de Martinique (BERNADET *et al.*, 2014). L'étang Madère présente néanmoins plusieurs taxons uniques, probablement en lien avec son caractère forestier (*Gynacantha nervosa*) et sa très forte végétalisation associée à un très léger courant (*Liodessus noviaffinis*).

Tous les autres sites avec une diversité γ élevée se caractérisent par de forts recouvrements d'herbiers aquatiques.

Tableau 4 - Superficie, pH, conductivité, richesse taxonomique et indices de diversité de Lu *et al.*, (2007) des 26 plans d'eau. Les plans d'eau à influence haline sont indiqués en italique. Les plans d'eau du cœur du Parc sont indiqués en gras. Les sites sont organisés par ordre décroissant de diversité γ .

Plan d'eau	Superficie (m ²)	pH	Conductivité (μS/cm)	Richesse	Diversités		
					α	β	γ
Sikrye-ka	1559	8	504	45	1,73	12,45	14,18
<i>Mare de Welche ouest</i>	77	7,45	2270	46	1,77	10,25	12,02
Ravine Deville	456	7,9	469	44	1,69	9,19	10,88
Mare de Saint Bernard	899	8,1	672	46	1,77	8,03	9,8
Grand Etang	73728	7,6	404	25	0,96	6,87	7,83
Etang Madère	3497	7,4	58	19	0,73	6,95	7,68
Chassaing	1020	7,7	179	36	1,38	6,28	7,67
<i>Marais Gros-Boeuf</i>	4833	8,7	3420	31	1,19	5,14	6,33
Mare de Roche	3894	10,2	700	23	0,88	5,41	6,29
Jardin d'eau (La Case a Manman Dio)	2379	9,4	106	30	1,15	4,81	5,96
Mare à Boire	471	7,2	455	23	0,88	4,39	5,27
Mare de la ravine de l'Anse Patate	540	8	588	29	1,12	3,76	4,88
Mare Choute	654	7,3	322	20	0,77	4,05	4,82
Bone Est	273	6,2	70	28	1,08	3,62	4,7
<i>Pointe Canot Ouest</i>	22	8,6	31000	18	0,69	3,6	4,29
Etang de l'As de Pique	9130	6,8	34	14	0,54	3,62	4,16
Jardin d'eau (Le bassin aux icaques)	202	7	88	18	0,69	3,43	4,12
Bone Nord	1404	6,3	83	18	0,69	3,01	3,7
Jardin d'eau (Grand bassin ouest)	2077	8,2	136	25	0,96	2,73	3,69
<i>Mare de Welche Est</i>	39	7	7900	23	0,88	2,58	3,47
<i>Pointe Canot Est</i>	100	8,5	9000	18	0,69	1,84	2,54
<i>Mare de la Rivière Forban</i>	2113	8,4	51000	5	0,19	2,34	2,53
Etang Zombis	15248	7	100	11	0,42	1,75	2,18
Barbès	791	7,6	342	9	0,35	1,32	1,66
Jardin d'eau (Bassin des carpes Koi)	195	6,9	89	5	0,19	1,15	1,35
<i>Mangrove de Welche</i>	100	8,13	51000	3	0,12	0,88	1

III.1.2. Analyse de la diversité beta par classification hiérarchique

La classification hiérarchique identifie trois groupes de plans d'eau d'après les communautés d'invertébrés (Figure 27). Aucune organisation géographique ne transparait clairement au sein de ces groupes. Les deux premiers groupes (bleu et vert) regroupent des plans d'eau pauvres en espèce (plans d'eau associés à des mangroves plus As de Pique et Bassin des carpes Koi), tandis que le troisième groupe (en rouge) regroupe des sites riches en espèce. L'influence des facteurs environnementaux naturels (géologie, altitude) pourrait être brouillée dans la plupart des plans d'eau par de nombreux facteurs anthropiques et par l'empoisonnement. Ainsi, la majorité des communautés des plans d'eau du cœur du Parc sont assez proches (Madère, Grand Etang et Zombis), mais sont associés à l'étang de Sikrye-ka, localisé sur Grande Terre.

L'As de Pique est associé au bassin des carpes Koi du Jardin d'eau, aux communautés très banalisées en raison de la présence des carpes. Un impact très important des poissons sur les communautés d'invertébrés de l'As de Pique n'est pas à exclure.

Au regard de ces résultats, il existe probablement deux grands types de communautés d'invertébrés : (1) une communauté-type d'eau douce, riche en espèces sauf en présence d'altération majeure (forte pollution, carpes), et (2) une communauté-type halophile, cantonnée aux milieux fortement influencés par des échanges océaniques : conductivités comprises entre 2200 (Welche ouest) et 51 000 μS/cm (mare de la rivière Forban, mangrove de Welche). La richesse de ces sites semble dépendre du degré de salinité, avec des communautés généralement pauvres (5 à 18 taxons) lorsque les conductivités sont très élevées.

L'exclusion des mares de mangrove (Figure 28) permet d'obtenir six groupes, pour lesquels il est difficile, à l'exception des trois étangs du cœur du Parc, d'identifier l'influence de facteurs altitudinaux ou géologiques. Ces six groupes peuvent être regroupés en deux principaux : le premier, incluant des plans d'eau à faible capacité

d'accueil en raison d'une altitude importante ou d'altérations trop importantes, limitant parfois le développement d'herbiers aquatiques ou littoraux (i.e. Etang Madere, Bone Est, Etang de l'As de Pique), et un second incluant des plans d'eau riches en herbiers donc plus accueillants (i.e. Mare Choute, Ravine Deville), malgré des contextes parfois très agricoles. La mare de Roche semble abriter une diversité originale parmi les plans d'eau pauvres en taxons : il s'agit en effet d'un plan d'eau très végétalisé en début de saison (Joël Rios, Biotope, com. personnelle), mais dépourvu d'herbiers lors de l'échantillonnage. Il présente en particulier une très forte densité d'hémiptères du genre *Buenoa* et *Centrocorisa*, probablement en lien avec une forte densité en zooplancton qui a pu se développer sur site grâce aux anciens herbiers, et ce malgré la présence de poissons.

Les dendrogrammes hiérarchiques suggèrent (1) une altération importante et globale de la majorité des plans d'eau de la Guadeloupe, conduisant à des communautés potentiellement banalisées, altération confirmée par la présence d'espèces exotiques (poissons, végétaux et invertébrés) sur la quasi-totalité des plans d'eau, mais également (2) de probables échanges massifs et pour partie stochastiques d'invertébrés entre plans d'eau temporaires, permanents ou semi-permanents, ces deux derniers servant probablement de refuge lors de la saison sèche à de nombreux invertébrés occupant les mares temporaires, beaucoup plus nombreuses sur le territoire. Ainsi, la présence de nombreux taxons sur un plan d'eau donné dépend probablement de sa capacité d'accueil (présence d'herbiers aquatiques), mais aussi de la proximité de plans d'eau eux-mêmes accueillants, voire même de la présence d'herbiers sur le site en période plus favorable. Si la diversité des plans d'eau permanents de Guadeloupe semble plutôt homogène (uniquement trois groupes identifiés), leur importance n'en est pas moins cruciale pour maintenir une biodiversité globale en invertébrés aquatiques à l'échelle de la Guadeloupe.

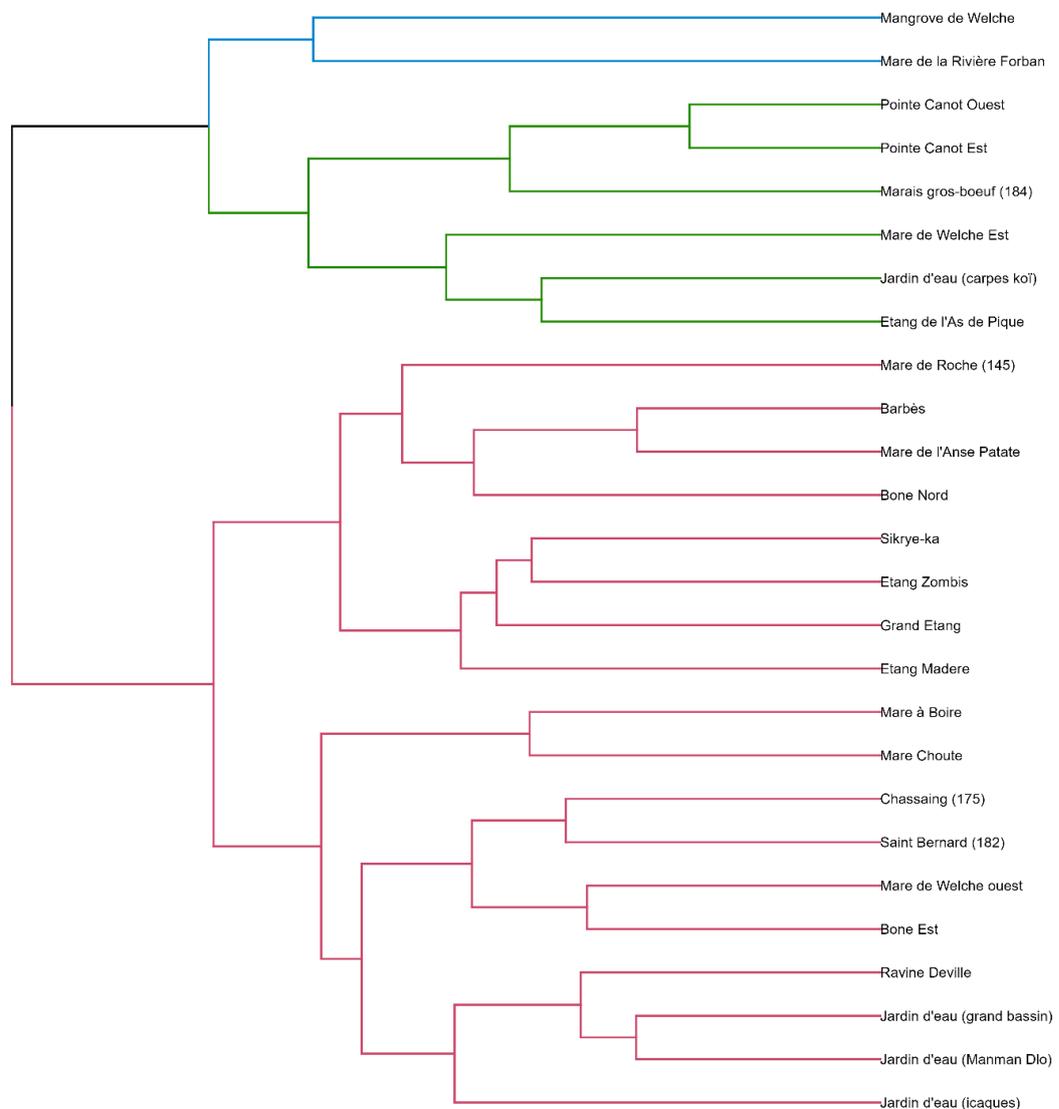


Figure 27 - Classification hiérarchique de l'ensemble des 26 plans d'eau échantillonnés d'après leurs communautés d'invertébrés

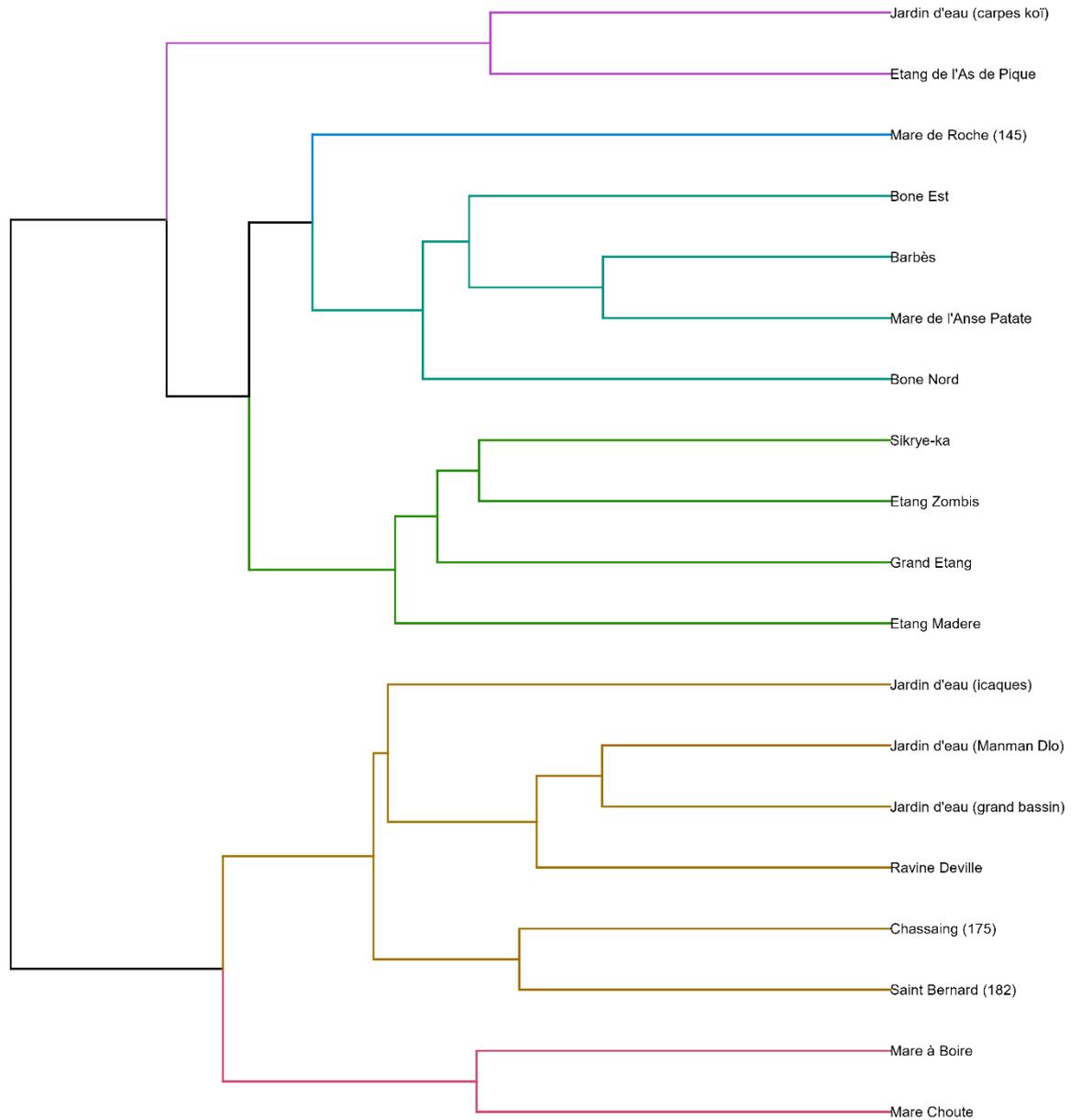


Figure 28 - Classification hiérarchique des plans d'eau (hors plans d'eau de mangrove) échantillonnés d'après leurs communautés d'invertébrés

III.2. Communauté de macrophytes

Le nombre de taxons inventoriés sur l'ensemble des plans d'eau est de 85. La richesse par plan d'eau est comprise entre zéro (Pointe Canot Ouest) et dix-sept taxons (Jardin d'eau Manman Dlo, Tableau 5). La mangrove de Welche est de loin le site le plus pollué (très forte odeur de fermentation, nombreux déchets dont batterie de voiture), avec une communauté très peu diversifiée, très largement dominée par des larves de Syrphidae habituellement trouvées dans des lisiers et autres excréments liquides, et caractéristiques d'une très forte charge en matières organiques.

Les plans d'eau du cœur du parc sont plutôt riches en macrophytes, entre cinq (Etang Zombis) et dix taxons (Grand Etang). A noter que la richesse taxonomique de l'Etang Zombi est probablement sous-estimée, le relevé n'ayant pas pu être réalisé convenablement en raison des difficultés d'accès au tour de l'étang et de la profondeur ne permettant pas une prospection pédestre.

III.2.1. Analyse des richesses et diversités par site et intersites

Les plans d'eau contribuant le plus à la diversité des invertébrés sont deux plans d'eau du Jardin d'eau (icaques $\gamma = 8.57$ et Manman Dlo $\gamma = 8.55$), suivis de l'étang de l'As de Pique ($\gamma = 7.08$) et Grand Etang ($\gamma = 6.12$).

Les plans d'eau du Jardin d'eau se caractérisent par (1) une gestion hydrologique du site permettant le maintien d'un niveau d'eau suffisant au développement de la végétation aquatique, (2) un entretien fréquent de la zone littorale voire des curages, évitant la fermeture du milieu (en particulier par les espèces de *Paspalum*, qui ont tendance à étouffer le reste de la végétation sur de nombreux plans d'eau), (3) la forte affluence d'usagers et les déplacements entre sites du personnel d'entretien pouvant transporter des propagules, y est également susceptible d'augmenter la richesse floristique.

Les étangs du cœur du Parc contribuent à la β diversité grâce à une flore caractéristique de la forêt tropicale humide, ou de sites peu anthropisés que l'on ne retrouve pas ou peu dans les autres sites inventoriés (e.g. *Rhynchospora corymbosa*, *Cladium mariscus subsp. jamaicense*, *Centella*, *Eleocharis flavescens*, *Cyclosorus interruptus*, ou encore l'endémique *Helanthium zombiense*).

Contribuent ensuite le plus à la β diversité les rares mares avec des herbiers d'hydrophytes bien développés (Chassaing, Saint Bernard), souvent assez profondes, avec un cortège original, notamment de *Nymphaea*. Comme le soulignait Joël Jérémie, certaines espèces végétales sont fugaces et peuvent apparaître ou disparaître en un même lieu ou être moins abondante à certaines périodes de l'année (BONNIN, 2012). Nous avons pu le constater en échantillonnant des mares très végétalisées en début de saison sèche (Joël Rios, Biotope, com. personnelle), et quasi dépourvues de végétation lors de notre passage. Une caractérisation des plans d'eau de Guadeloupe par la végétation aquatique mériterait probablement plusieurs passages prenant en compte la variabilité hydrologique sur une année. Le maintien d'un niveau d'eau constant sur les mares du Jardin d'eau pourrait ainsi expliquer en grande partie leur plus grande richesse floristique.

Tableau 5 - Superficie, pH, conductivité, richesse taxonomique et indices de diversité de Lu *et al.*, (2007) des 26 plans d'eau pour les macrophytes. Les plans d'eau à influence haline sont indiqués en italique. Les plans d'eau du cœur du Parc sont indiqués en gras. Les sites sont organisés par ordre décroissant de diversité γ .

Plan d'eau	Superficie (m ²)	pH	Conductivité (μS/cm)	Richesse	Diversités		
					α	β	γ
Jardin d'eau (icaques)	202	7	88	13	0,52	8,05	8,57
Jardin d'eau (Manman Dlo)	2379	9,4	106	17	0,68	7,87	8,55
Etang de l'As de Pique	9130	6,8	34	10	0,4	6,68	7,08
Grand Etang	73728	7,6	404	10	0,4	5,72	6,12
Chassaing (175)	1020	7,7	179	8	0,32	5,28	5,6
Saint Bernard (182)	899	8,1	672	10	0,4	5,07	5,47
Etang Madere	3497	7,4	58	11	0,44	4,51	4,95
Barbès	791	7,6	342	8	0,32	4,16	4,48
Mare de l'Anse Patate	540	8	588	10	0,4	3,93	4,33
Mare à Boire	471	7,2	455	9	0,36	3,69	4,05
Sikrye-ka	1559	8	504	8	0,32	3,73	4,05
<i>Marais gros-boeuf</i>	<i>4833</i>	<i>8,7</i>	<i>3420</i>	<i>8</i>	<i>0,32</i>	<i>3,71</i>	<i>4,03</i>
<i>Mare de Welche Est</i>	<i>39</i>	<i>7</i>	<i>7900</i>	<i>5</i>	<i>0,2</i>	<i>2,97</i>	<i>3,17</i>
Bone Nord	1404	6,3	83	8	0,32	2,06	2,38
Etang Zombis	15248	7	100	5	0,2	1,75	1,95
Ravine Deville	456	7,9	469	4	0,16	1,61	1,77
Jardin d'eau (grand bassin)	2077	8,2	136	6	0,24	1,23	1,47
Mare Choute	654	7,3	322	5	0,2	1,1	1,3
Mare de Roche (145)	3894	10,2	700	4	0,16	1,12	1,28
<i>Pointe Canot Est</i>	<i>100</i>	<i>8,5</i>	<i>9000</i>	<i>2</i>	<i>0,08</i>	<i>1,09</i>	<i>1,17</i>
Jardin d'eau (carpes koi)	195	6,9	89	4	0,16	0,96	1,12
Bone Est	273	6,2	70	5	0,2	0,92	1,12
<i>Mangrove de Welche</i>	<i>100</i>	<i>8,13</i>	<i>51000</i>	<i>1</i>	<i>0,04</i>	<i>0,29</i>	<i>0,33</i>
Mare de la Rivière Forban	2113	8,4	51000	1	0,04	0,29	0,33
<i>Mare de Welche ouest</i>	<i>77</i>	<i>7,45</i>	<i>2270</i>	<i>2</i>	<i>0,08</i>	<i>0,25</i>	<i>0,33</i>
<i>Pointe Canot Ouest</i>	<i>22</i>	<i>8,6</i>	<i>31000</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

III.2.1. Analyse de la diversité beta par classification hiérarchique

Sept groupes de plans d'eau ont été définis par la classification hiérarchique à partir des communautés de macrophytes. Les plans d'eau du cœur du Parc (en rouge, Figure 29, conductivité comprise entre 34 et 404 μS/cm) sont bien identifiés. Ils forment une branche distincte avec les autres plans d'eau au substratum volcanique de Basse Terre (en marron, conductivité comprise entre 70 et 136 μS/cm). Les communautés des sites les plus halins constituent deux groupes (en vert clair et vert foncé, conductivité de 51000 μS/cm ou comprise entre 3420 et 9000 μS/cm respectivement), les milieux alluviaux, calcaires ou faiblement halins (conductivité comprise entre 179 et 2270 μS/cm) s'associent en trois groupes dont la signification écologique est difficile à identifier. Ces résultats sont assez proches de ceux de JEREMIE & JEUNE (1991), qui définissaient trois grands groupes de communautés selon trois classes de conductivité.

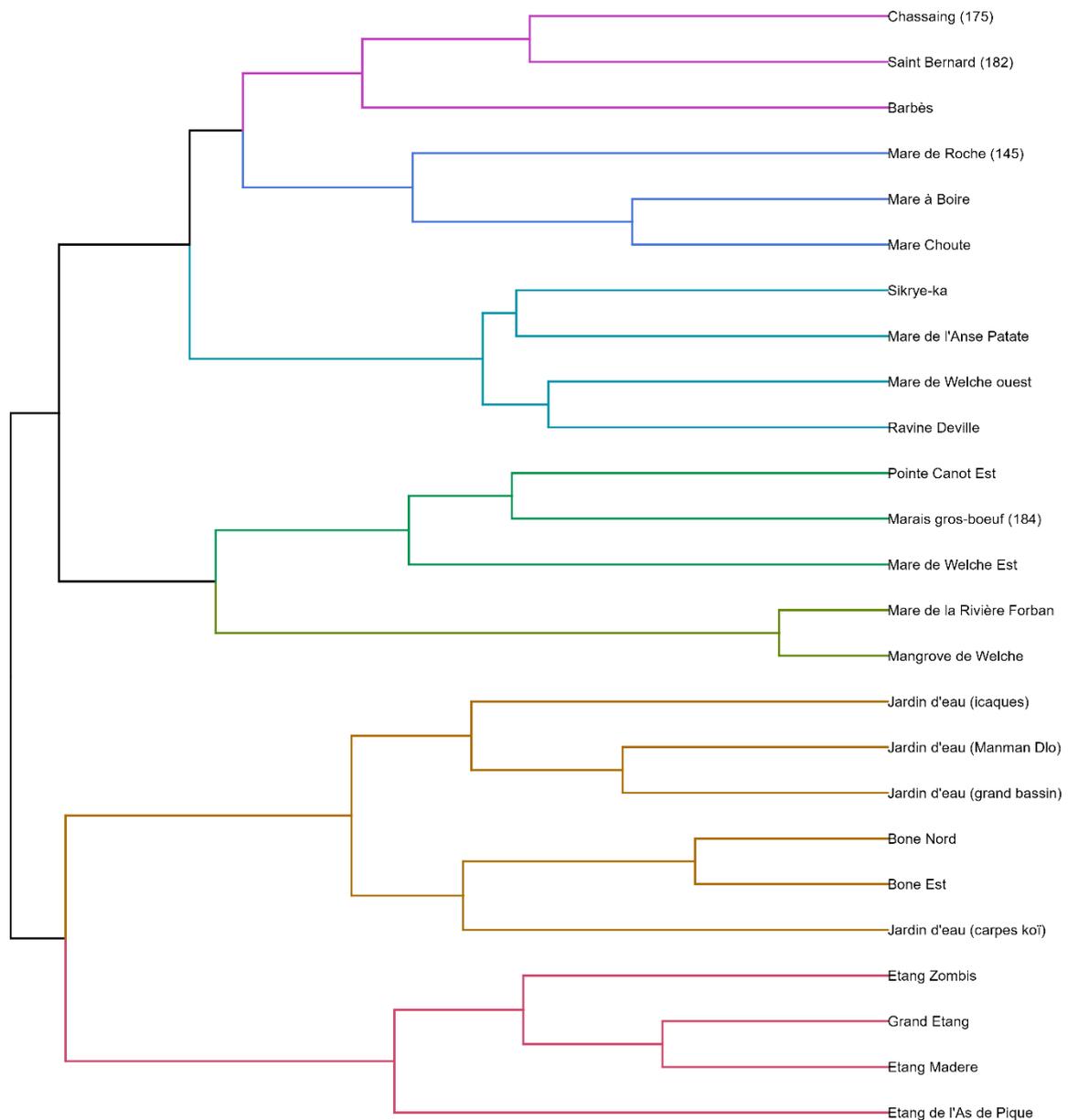


Figure 29 - Classification hiérarchique des plans d'eau échantillonnés d'après leurs communautés de macrophytes

CONCLUSIONS

Dans le cadre de cette étude, 26 plans d'eau ont été échantillonnés pour plus d'une centaine de plans d'eau visités. La majorité des plans d'eau visités non échantillonnés étaient dépourvues de végétation aquatique, et n'ont pas été échantillonnés afin de privilégier la plus grande diversité possible de plans d'eau.

Une clé d'identification des invertébrés a été fournie. Cette clé permet d'identifier au genre la quasi-totalité des invertébrés d'eau douce présents en Guadeloupe. Elle complète ou corrige en particulier trois groupes spécifiques aux milieux stagnants et largement négligés dans les clés existantes : les Coléoptères, les Hémiptères et les Odonates. Elle prend également en compte les nouveaux taxons (hors ripicoles stricts et imagos de Diptères) identifiés dans le cadre de cette étude.

Ce sont en effet 25 nouveaux taxons pour la Guadeloupe et souvent pour le territoire français qui ont été identifiés dans le cadre de cette étude. Parmi les taxons aquatiques inventoriés, l'ordre des Diptères reste à ce jour très peu connu et mériterait des investigations complémentaires par le biais d'autres méthodes d'échantillonnage (par piégeage d'imagos principalement).

Malgré une forte pression anthropique sur la majorité des plans d'eau inventoriés, les communautés de macrophytes semblent s'organiser sur l'île en fonction du fond géochimique, avec trois grands groupes de communautés ((1) influence haline, (2) volcanique (cœur du Parc) et (3) alluvial ou calcaire). Des sous-groupes d'origine peu claire ont également été identifiés, à mettre probablement en relation avec la forte variabilité temporelle des communautés de macrophytes, des niveaux d'altération plus ou moins élevés, et de la profondeur permettant ou non l'installation d'une communauté de macrophytes diversifiée.

Les communautés d'invertébrés ne semblent pas obéir aux mêmes motifs, avec deux grands types de communautés : une communauté caractéristique des milieux halins, et une autre d'eau douce. La présence des espèces sur ces plans d'eau semble principalement liée à la capacité d'accueil de ces plans d'eau (présence d'une végétation aquatique ou littorale inondée abondante) et au hasard, la majorité des espèces inventoriées possédant de très fortes capacités de dispersion (Coléoptères, Hémiptères et Odonates). Les communautés d'invertébrés des plans d'eau du cœur du parc semblent plutôt originales, mais pourraient correspondre à des espèces plus fréquentes dans les cours d'eau de Guadeloupe.

Ces résultats soulignent la nécessité de maintenir un réseau important de mares assurant la dispersion des espèces d'invertébrés au sein du réseau de mares. Ce réseau doit inclure des mares profondes ou entretenues assurant le développement d'espèces végétales globalement peu représentées, celles-ci permettant aux mares d'accueillir les plus grandes richesses en invertébrés. Ces mares étant de plus en plus rares (JEREMIE & RAYNAL-ROQUES, 1981), il s'agit ici d'un enjeu majeur de conservation.

Tous les plans d'eau échantillonnés sont permanents voire semi-permanents, et ne correspondent qu'à une très petite part des plans d'eau présents en Guadeloupe, majoritairement temporaires. Des larves d'espèces aquatiques aux cycles très courts et parfois très banales (e.g. *Erthrodiplox umbrata*), adaptés aux milieux temporaires, n'ont ainsi pas été observées. De nombreuses autres nouvelles espèces pour la Guadeloupe restent probablement à découvrir en inventoriant les mares temporaires sur le territoire.

Les données récoltées au cours de cette étude feront l'objet de publications futures. Un article sur *Mesonoterus* et sa larve, jamais décrite, a été soumis à une revue en avril 2023.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR., 2010. – *XP T90-328 - Échantillonnage des communautés de macrophytes en plans d'eau*. Paris : AFNOR, 33 p.
- ARCE-PEREZ R. & MORON M. Á., 2013. – El género *Hydrophilus* (Coleoptera: Hydrophilidae: Hydrophilina) en México y Centroamérica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **84** (1) : 140-152 doi : 10.7550/rmb.32113.
- ARISTIZABAL GARCIA H., 2016. – *Hemípteros acuáticos y semiacuáticos del neotrópico*. Bogotá : Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, 985 p.
- BARROW J. L., BEISNER B. E., GILES R., GIANI A., DOMAIZON I. & GREGORY-EAVES I., 2019. – Macrophytes moderate the taxonomic and functional composition of phytoplankton assemblages during a nutrient loading experiment. *Freshwater Biology*, **64** (8) : 1369-1381 doi : 10.1111/fwb.13311.
- BARTRONS M., SARDANS J., HOEKMAN D. & PEÑUELAS J., 2018. – Trophic transfer from aquatic to terrestrial ecosystems: a test of the biogeochemical niche hypothesis. *Ecosphere*, **9** (7) : e02338 doi : 10.1002/ecs2.2338.
- BERNADET C., TOURON-PONCET H., BARGIER N. & CEREGHINO R., 2014. – *Atlas des Macroinvertébrés benthiques des cours d'eau de Martinique et de Guadeloupe*. Asconit, 220 p.
- BONNIN L., 2012. – *Le Grand-Etang et l'étang Zombis, Basse Terre, Guadeloupe. Situation à l'été 2012*. AgroParisTech Nancy : Parc National de la Guadeloupe, 35 p.
- BORCARD D., GILLET F. & LEGENDRE P., 2011. – *Numerical Ecology with R*. New York, NY : Springer New York, 318 p. doi : 10.1007/978-1-4419-7976-6.
- BROWN C. J. D., 1933. – A Limnological Study of Certain Fresh-Water Polyzoa with Special Reference to Their Statoblasts. *Transactions of the American Microscopical Society*, **52** (4) : 271 doi : 10.2307/3222415.
- CLARKSON B., SANTOS A. D. D. & FERREIRA-JR N., 2016. – On Brazilian Helobata Bergroth, 1888 (Coleoptera: Hydrophilidae): description of two new species, new records, and key to species. *Zootaxa*, **4126** (4) : 548 doi : 10.11646/zootaxa.4126.4.6.
- COBBEN R. H., 1960. – The Heteroptera of the Netherlands Antilles – III Saldidae (Shore Bugs). *Studies on the Fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, **11** (1) : 44-61.
- COVICH A. P., PALMER M. A. & CROWL T. A., 1999. – The Role of Benthic Invertebrate Species in Freshwater Ecosystems. *BioScience*, **49** (2) : 119-127 doi : 10.2307/1313537.
- DE CACERES M., LEGENDRE P. & MORETTI M., 2010. – Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos*, **119** (10) : 1674-1684 doi : 10.1111/j.1600-0706.2010.18334.x.
- DRAKE C. J. & COBBEN R. H., 1960. – The Heteroptera of the Netherlands Antilles – II Hebridae. *Studies on the Fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, **11** (1) : 35-43.
- DRAKE C. J. & HUSSEY R. F., 1954. – Notes on Some American Veliidae (Hemiptera), with the Description of Two New Microvelias from Jamaica. *The Florida Entomologist*, **37** (3) : 133 doi : 10.2307/3493086.
- EPLER J. H., 1996. – *Identification Manual for the Water Beetles of Florida*. Tallahassee : Florida Department of Environmental Protection, 259 p.
- EPLER J. H., 2010. – *The water beetles of Florida.*, 414 p.
- FRENCH C. D. & SCHENK C. J., 2004. – Surface Geology of the Caribbean Region (geo6bg). doi : 10.5066/P938YEBH.
- GARGOMINY O., TERCERIE S., REGNIER C., RAMAGE T., DUPONT P., DASZKIEWICZ P. & PONCET L., 2022. – *TAXREF V16, référentiel taxonomique pour la France : méthodologie, mise en œuvre et diffusion*. PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), 48 p.

- GRATTON C., DONALDSON J. & ZANDEN M. J. V., 2008. – Ecosystem Linkages Between Lakes and the Surrounding Terrestrial Landscape in Northeast Iceland. *Ecosystems*, **11** (5) : 764-774 doi : 10.1007/s10021-008-9158-8.
- GUNDERSEN R. W., 1977. – New Species and Taxonomic Changes in the Genus *Enochrus* (Coleoptera: Hydrophilidae). *The Coleopterists Bulletin*, **31** (3) : 251-272.
- HABECK D. H., 1988. – *Neargyractis slossonalis* (Lepidoptera: Pyralidae, Nymphulinae): Larval Description and Biological Notes. *The Florida Entomologist*, **71** (4) : 588 doi : 10.2307/3495017.
- HAMADA N., THORP J. H. & ROGERS D. C., 2018. – *Keys to neotropical Hexapoda*. London (GB) : ELSEVIER ACADEMIC Press, 838 p.
- HANSON M. A., BUELT C. A., ZIMMER K. D., HERWIG B. R., BOWE S. & MAURER K., 2015. – Co-correspondence among aquatic invertebrates, fish, and submerged aquatic plants in shallow lakes. *Freshwater Science*, **34** (3) : 953-964 doi : 10.1086/682118.
- HOLLAND A. M., SCHAUBER E. M., NIELSEN C. K. & HELLGREN E. C., 2018. – Stream community richness predicts apex predator occupancy dynamics in riparian systems. *Oikos*, **127** (10) : 1422-1436 doi : 10.1111/oik.05085.
- J. TENNESSEN K., 2019. – *Dragonfly nymphs of North America: an identification guide*. New York, NY : Springer Berlin Heidelberg.
- JEREMIE J. & JEUNE B., 1991. – Végétation des milieux aquatiques stagnants des Petites Antilles et relation entre la minéralisation des eaux et la distribution des macrophytes. *Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle Section B, Adansonia, botanique, phytochimie*, **13-14** : 297-330.
- JEREMIE J. & RAYNAL-ROQUES A., 1978. – Observations sur la végétation aquatique aux Petites Antilles : variations saisonnières d'une mare à *Ruppia* et *Najas* à la Guadeloupe. *Adansonia*, **18** (2) : 279-285.
- ., 1981. – Dynamique de la végétation des mares de dolines aux Petites Antilles. *Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle Section B, Adansonia, botanique, phytochimie*, **3** : 259-280.
- JONES J. I. & WALDRON S., 2003. – Combined stable isotope and gut contents analysis of food webs in plant-dominated, shallow lakes. *Freshwater Biology*, **48** (8) : 1396-1407 doi : 10.1046/j.1365-2427.2003.01095.x.
- DE KORT-GOMMERS M. & NIESER N., 1969. – Records of Antillean Water-striders (Heteroptera). *Studies on the Fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, **30** (1) : 72-87.
- KUSCHEL G., 1951. – Revision de *Lissorhoptrus* Leconte y Generos vecinos de America (Ap. 11 de Coleoptera Curculionidae). *Revista chilena de entomología*, **53** (1-3) : 23-74.
- KUTSCHERA U., 2004. – The freshwater leech *Helobdella europaea* (Hirudinea: Glossiphoniidae): an invasive species from South America? *Lauterbornia*, **52** : 153-162.
- LABAT F., 2015. – *Utilisation des macrophytes comme outil de monitoring des plans d'eau peu profonds – proposition d'une méthode de monitoring et premiers résultats pour la mise en place d'une typologie fonctionnelle*. Aquabio - ENSEGID - Université de Pau et des Pays de l'Adour, 138 p.
- ., 2017. – A new method to estimate aquatic invertebrate diversity in French shallow lakes and ponds. *Ecological Indicators*, **81** : 401-408 doi : 10.1016/j.ecolind.2017.05.073.
- ., 2020. – *Echantillonnage et traitement au laboratoire de macroinvertébrés et de macrophytes en petit plan d'eau peu profond - Et collecte des données permettant de calculer l'indice multi-métrique BECOME Bio-évaluation des ECOSystèmes Mares et Etangs V1.2.0*. Cournon d'Auvergne : Aquabio, 46 p.
- ., 2021. – *Facteurs environnementaux déterminants des communautés d'invertébrés et de macrophytes des petits plans d'eau peu profonds de France continentale*. Rennes : Université de Rennes 1, 319 p.
- LABAT F., THIEBAUT G. & PISCART C., 2021. – Principal Determinants of Aquatic Macrophyte Communities in Least-Impacted Small Shallow Lakes in France. *Water*, **13** (5) : 609 doi : 10.3390/w13050609.

—., 2022. – A new method for monitoring macrophyte communities in small shallow lakes and ponds. *Biodiversity and Conservation*, **31** : 1627-1645 doi : <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02416-7>.

LABAT F. & USSEGLIO-POLATERA P., subm. – BECOME: A macrophyte and macroinvertebrate-based multimetric index for assessing and managing the ecological quality and conservation value of French small standing waters. *Ecological Indicators*, .

LACOURT A. W., 1955. – Freshwater Bryozoa (Phylactolaemata) from Curaçao, Aruba and Bonaire. *Studies on the Fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, **6** (1) : 86-88.

LANIGAN A. C. & HYSLOP E. J., 2011. – The aquatic and semiaquatic Hemiptera of Jamaica. *Journal of Freshwater Ecology*, **26** (2) : 295-297 doi : 10.1080/02705060.2011.559335.

LARIVIERE M.-C. & LAROCHELLE A., 2019. – World Saldidae: Supplement (1987–2018) to the catalog and bibliography of the Leptopodomorpha (Heteroptera). *Zootaxa*, **4590** (1) : 125 doi : 10.11646/zootaxa.4590.1.5.

LU H.-P., WAGNER H. H. & CHEN X.-Y., 2007. – A contribution diversity approach to evaluate species diversity. *Basic and Applied Ecology*, **8** (1) : 1-12 doi : 10.1016/j.baae.2006.06.004.

MEURGEY F. & PICARD L., 2011. – *Les libellules des Antilles françaises: écologie, biologie, biogéographie et identification*. Mèze Paris : Biotope Muséum national d'histoire naturelle.

MEURGEY F. & POIRON C., 2012. – An updated checklist of Lesser Antillean Odonata. *International Journal of Odonatology*, **15** : 305-316 doi : 10.1080/13887890.2012.738401.

MOREIRA F. F. F., FLORIANO C. F. B., RODRIGUES H. D. D. & SITES R. W., 2020. – Revision of the American genus *Steinovelina* Polhemus & Polhemus, 1993 (Heteroptera: Gerromorpha: Veliidae). *Zootaxa*, **4729** (1) : 77-91 doi : 10.11646/zootaxa.4729.1.5.

MULDERIJ G., VAN NES E. H. & VAN DONK E., 2007. – Macrophyte–phytoplankton interactions: The relative importance of allelopathy versus other factors. *Ecological Modelling*, **204** (1-2) : 85-92 doi : 10.1016/j.ecolmodel.2006.12.020.

NARANJO C., MUNOZ RIVIAUX S., MOREIRA F. & COURT R., 2010. – Taxonomy and distribution of aquatic and semiaquatic Heteroptera (Insecta) from Cuba. *Revista de biología tropical*, **58** : 897-907 doi : 10.15517/rbt.v58i2.5253.

NIESER N., 1969. – The Heteroptera of the Netherlands Antilles – VII Corixidae. *Studies on the Fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, **28** (1) : 135-164.

NILSSON A. N., 2011. – *A World Catalogue of the Family Noteridae, or the Burrowing Water Beetles (Coleoptera, Adephaga)*. Version 16.VIII.2011., 54 p.

NUÑEZ R. & BARRO CAÑAMERO A., 2012. – A list of Cuban Lepidoptera (Arthropoda: Insecta). *Zootaxa*, **3384** : 1-59 doi : 10.11646/zootaxa.3384.1.1.

OKAMURA B., HARTIKAINEN H. & TREW J., 2019. – Waterbird-Mediated Dispersal and Freshwater Biodiversity: General Insights From Bryozoans. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **7** doi : 10.3389/fevo.2019.00029.

PADISAK J. & REYNOLDS C. S., 2003. – Shallow lakes: the absolute, the relative, the functional and the pragmatic. *Hydrobiologia*, **506-509** (1-3) : 1-11 doi : 10.1023/B:HYDR.0000008630.49527.29.

PECK S. B., 2011. – The diversity and distributions of the beetles (Insecta: Coleoptera) of the northern Leeward Islands, Lesser Antilles (Anguilla, Antigua, Barbuda, Nevis, Saba, St. Barthélemy, St. Eustatius, St. Kitts, and St. Martin-St. Maarten. *Insecta Mundi*, **159** : 1-54.

PEREZ G., 2012. – *Los Heterópteros de Cuba*. Universidad Central de las Villas, 429 p.

PIMIENTO-ORTEGA M. G., GONZALEZ-GAMBOA I. & HERRERA-MARTINEZ Y., 2021. – First record of *Ramphocorixa rotundocephala* Hungerford, 1927 (Hemiptera, Corixidae) for Colombia. *Check List*, **17** (2) : 503-506 doi : 10.15560/17.2.503.

R CORE TEAM., 2020. – R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

REGIMBART M., 1832. – Révision des grands Hydrophiles. *Annales de la Société entomologique de France*, **70** : 188-232.

RIBEIRO J. R. I., 2007. – A review of the species of *Belostoma* Latreille, 1807 (Hemiptera: Heteroptera: Belostomatidae) from the four southeastern Brazilian states. *Zootaxa*, **1477** : 1-70.

ROBINSON H., 1975. – *The Family Dolichopodidae with Some Related Antillean and Panamanian Species (Diptera)*. Washington : Smithsonian Institution Press, 151 p.

RODRIGUES J. M. DOS S., CRUMIERE A. J. J., TOUBIANA W., KHILA A. & MOREIRA F. F. F., 2022. – New species and new records of semiaquatic bugs (Arthropoda, Insecta, Hemiptera, Heteroptera, Gerromorpha) from French Guiana. *ZooKeys*, **1126** : 155-199 doi : 10.3897/zookeys.1126.94545.

ROGERS D. C. & CRUZ-RIVERA E., 2021. – A preliminary survey of the inland aquatic macroinvertebrate biodiversity of St. Thomas, US Virgin Islands. *Journal of Natural History*, **55** (13-14) : 799-850 doi : 10.1080/00222933.2021.1923850.

ROGERS J. S., 1949. – The life history of *Megistocera longipennis* (Macquart) (Tipulidae, Diptera), a member of the Neuston fauna. .

SAWYER R. T. & KINARD W. F., 1980. – A Checklist and key to the marine and freshwater leeches (Annelida: Hirudinea) of Puerto Rico and other Caribbean islands. *Caribbean Journal of Science*, **15** (3-4) : 83-86.

SCHEFFER M., 2001. – Alternative Attractors of Shallow Lakes. *The Scientific World JOURNAL*, **1** : 254-263 doi : 10.1100/tsw.2001.62.

—., 2004. – *Ecology of shallow lakes*. Reprinted with corr., Dordrecht : Kluwer, 357 p.

SCHEFFER M., HOSPER S. H., MEIJER M.-L., MOSS B. & JEPPESEN E., 1993. – Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology & Evolution*, **8** (8) : 275-279 doi : 10.1016/0169-5347(93)90254-M.

SCHEFFER M. & NES E. H., 2007. – Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia*, **584** (1) : 455-466 doi : 10.1007/s10750-007-0616-7.

SHELLEY H., 2009. – *A guide to monitoring the ecological quality of ponds and canals using PSYM.*, 15 p.

SHORT A. E. Z., 2004. – Review of the *Enochrus* THOMSON of the West Indies (Coleoptera: Hydrophilidae). *Koleopterologische Rundschau*, **74** : 351-361.

SONG Y., LIEW J. H., SIM D. Z. H., MOWE M. A. D., MITROVIC S. M., TAN H. T. W. & YEO D. C. J., 2019. – Effects of macrophytes on lake-water quality across latitudes: a meta-analysis. *Oikos*, **128** (4) : 468-481 doi : 10.1111/oik.05809.

TAROZZI N., 2014. – *Mise en place d'un outil de suivi des plans d'eau peu profonds à partir des macrophytes : Elaboration d'un protocole et évaluation des incertitudes liées à la saisonnalité sur plusieurs indices de niveau trophique*. Aquabio, 88 p.

TOMASKO R., JENNRICH S., GORBACH K. & WARMAN M., 2022. – The potential of *Elophila oblitalis* larvae (waterlily leafcutter moth) as a biological control for the invasive aquatic plant *Nymphoides peltata* (yellow floating heart). doi : 10.21203/rs.3.rs-1478601/v1.

TOUROULT J., POIRIER E., DEKNUYDT F., DUMBARDON-MARTIAL E., LEMAIRE J.-M., LUPOLI R. & RAMAGE T., 2021. – *Inventaire entomologique des ZNIEFF de Martinique - Campagne de terrain 2020*. Société Entomologique Antilles-Guyane, 70 p.

TURNBOW R. H. J. & THOMAS M., 2008. – An annotated checklist of the Coleoptera (Insecta) of the Bahamas. *Insecta Mundi*, **34** : 1-64.

WALTERS D. M., FRITZ K. M. & OTTER R. R., 2008. – The dark side of subsidies: adult stream insects export organic contaminants to riparian predators. *Ecological Applications*, **18** (8) : 1835-1841 doi : 10.1890/08-0354.1.

WARD J. H., 1963. – Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, **58** (301) : 236-244.

WILLISTON S. W., ALDRICH J. M., SHARP D. & LONDON R. E. S. OF., 1896. – *On the Diptera of St. Vincent (West Indies)*. London : Royal Entomological Society of London, 232 p., 1-232 p.

WOOLDRIDGE D. P., 1966. – Notes on Nearctic Paracymus with Descriptions of New Species (Coleoptera: Hydrophilidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, **39** (4) : 712-725.

YOUNG J. O., 1980. – A serological investigation of the diet of *Helobdella stagnalis* (Hirudinea: Glossiphoniidae) in British lakes. *Journal of Zoology*, **192** (4) : 467-488 doi : 10.1111/j.1469-7998.1980.tb04244.x.

ZHANG C., HUANG Y., ŠPOLJAR M., ZHANG W. & KUCZYNSKA-KIPPEN N., 2018. – Epiphyton dependency of macrophyte biomass in shallow reservoirs and implications for water transparency. *Aquatic Botany*, **150** : 46-52 doi : 10.1016/j.aquabot.2018.07.001.

La déléguée adjointe

Monsieur Frédéric LABAT
Responsable Recherche et Développement
AQUABIO
10 rue Hector Guimard, Z.I Les Acilloux
63800 COURNON D'AUVERGNE

Basse-Terre, le 8 avril 2022

Objet : Avis relatif à intervention sur le foncier du Conservatoire du littoral.

Affaire suivie par : Didier LAMBERT
Vos réf. : Votre courriel en date du 28 février 2022.
Pièce-jointe : Cartes de localisation des sites Cdl
Copie : Mairie de Le Gosier, Mairie de Sainte-Anne, Mairie de Saint-François

Monsieur,

Par courriel mentionné en référence, vous sollicitez l'autorisation du Conservatoire du littoral afin de mener une campagne d'échantillonnages ponctuels de la flore et des invertébrés de mares en Guadeloupe, du lundi 11 au mardi 12 avril 2022.

Cette intervention qui s'inscrit dans le cadre d'un appel à projet du Parc National de Guadeloupe vise à fournir une clé d'identification plus complète des invertébrés des mares à l'usage des Guadeloupéens. Plusieurs plans d'eau que vous avez prévues d'échantillonner et qui sont issues d'une sélection statistique semi-aléatoire, sont localisés sur le domaine foncier du Conservatoire du littoral (Cf cartes de localisation).

Aussi, compte-tenu de l'intérêt écologique de l'intervention, le Conservatoire émet un avis favorable quant au déroulement de cette opération sur les sites suivants :

- Pointe Canot (n°971-531), commune de Le Gosier
- Anse à Saint (n°971-337), commune de Sainte-Anne
- Bois-Jolan – Pointe du vent (n°971-885), commune de Sainte-Anne
- Pointe des Châteaux (n°971-885), commune de Saint-François

J'attire votre attention sur le fait que les sites concernés sont classés « Domaine Public » et « Espace naturel protégé ». Par conséquent, je vous rappelle les préconisations d'usage suivantes, qu'il convient de respecter au regard de la fragilité et de la fréquentation de ces milieux naturels :

- L'espace utilisé devra rester accessible aux autres usagers à tout moment sauf si le mode opératoire nécessite, pendant une courte durée, la non présence du public ;
- Aucun balisage à la peinture ne devra être réalisé ;

- Toutes les installations et les signalisations provisoires nécessaires à l'opération devront être retirées dans un délai de 24 heures après la fin celui-ci ;
- Feux et coupe de branches sont strictement interdits ;
- Prise en charge totale de la sécurité des participants ainsi que la souscription aux assurances appropriées ;

Je vous précise également, que les Mairies de Le Gosier, Sainte-Anne et de Saint-François assurent par convention, la gestion de ces sites sur leur territoire administratif respectif. A ce titre, je vous remercie de bien vouloir les informer du déroulement de votre opération.

Enfin, je vous saurai gré de bien vouloir me communiquer ainsi qu'au gestionnaire, un bilan des opérations réalisées ainsi que des résultats obtenus dans le cadre de la présente autorisation.

Mon équipe et moi-même, nous nous tenons à votre disposition pour toute information complémentaire.

Je vous prie de croire, Monsieur, à l'assurance de ma considération distinguée.



Marie-Aurore ADROVER MALNOURY



Arrêté N°2022 -22

Relatif aux prélèvements de macrophytes et d'invertébrés des étangs en cœur de Parc

Le Directeur de l'établissement public du Parc national de la Guadeloupe,

Vu le code de l'environnement, et notamment l'article L.331-4-1;

Vu le décret n°2009-614 du 3 juin 2009 pris pour l'adaptation de la délimitation et de la réglementation du parc national de la Guadeloupe aux dispositions du code de l'environnement issues de la loi n° 2006-436 du 14 avril 2006 et notamment ses articles 3 et 7 ;

Vu le décret n°2014-48 du 21 janvier 2014 portant approbation de la charte du Parc national de la Guadeloupe, et notamment la modalité 2 de l'annexe 2 relative au cahiers n°3 de la charte correspondant aux modalités d'application de la réglementation pour les cœurs ;

Vu la demande d'autorisation de prélèvements de macrophytes et d'invertébrés à des fins scientifiques formulée le 08/02/2022 par transmission de dossier sous forme de courrier électronique par Frédéric Labat, Docteur en écologie à Aquabio et coordinateur du projet « Macrophytes et macroinvertébrés des mares de Guadeloupe » retenu dans le cadre de l'appel à projet scientifique du Parc (année 2021) ;

Vu le retour du Comité d'Éthique en Matière d'Expérimentation animale des Antilles et de la Guyane (CEMEAAG) du 24 mars 2022 par courrier électronique ;

Vu le retour du ministère à la date du 13 décembre 2021 concernant l'accès aux ressources génétiques (réglementation APA)

Considérant le faible impact potentiel de ces prélèvements sur les peuplements du cœur ;

Considérant l'impossibilité de pouvoir réaliser ce travail exclusivement hors cœur ;

Considérant l'intérêt de ces travaux pour l'approfondissement des connaissances sur les macrophytes et invertébrés de la Guadeloupe ;

ARRÊTE

Article 1

Monsieur Frédéric Labat ainsi que son équipe sont autorisés à effectuer, sur les zones de Cœur de Parc définies dans l'article 3, des prélèvements de macrophytes et d'invertébrés.

Les membres d'équipes sont les personnes suivantes :

Frédéric Labat, docteur en écologie
Romain Zeiller, ingénieur écologue
Céline Morton, ingénieure écologue
Stéphanie Riom, ingénieure écologue

Ces prélèvements sont réalisés uniquement dans le cadre de l'étude « Macrophytes et macro-invertébrés des mares de Guadeloupe » programmée du 8 avril 2022 au 22 avril 2022.

Article 2

Monsieur Frédéric Labat, Docteur en écologie à Aquabio – 10 rue Hector Guimard, 63800 Cournon d'Auvergne – 0623826470 – frederic.labat@aquabio-conseil.com, est définie comme le responsable du projet.

Article 3

La personne responsable de l'étude et des prélèvements, inscrite à l'article 2, peut collecter avec son équipe des spécimens sur les sites suivants :

Site	Coordonnées Géographiques (WGS 84)	
Grand-Etang	16.02735	-61.628362
Etang As de pique	16.02434	-61.642799
Etang Roche	16.02000	-61.63839
Etang Madère	16.01953	-61.63501

Article 4

Le dispositif APA (Accès et partage des avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques et des connaissances traditionnelles associées), issu du Protocole de Nagoya, porte uniquement sur l'utilisation de ressources génétiques, celle-ci étant définie comme les "activités de recherche et de développement sur la composition génétique ou biochimique de tout ou partie d'animaux, de végétaux, de micro-organismes ou autre matériel biologique contenant des unités de l'hérédité [...], ainsi que la valorisation de ces ressources génétiques, les applications et la commercialisation qui en découlent" (article L. 412-4 du code de l'environnement). Ce projet n'implique pas une telle utilisation, cette déclaration n'est donc pas requise au titre de l'APA (courriel du 13/12/2021).

Article 5

Les prélèvements se réaliseront de la manière suivante et en accord avec les protocoles détaillés à l'adresse suivante
(https://become.aquabio-conseil.com/DOCS/guide_BECOME.pdf)



Parc national de la Guadeloupe

Habitation Beausoleil • Montéran • 97120 Saint-Claude • BP 93

Tél. +590 5 90 80 86 00 • Fax +590 5 90 80 05 46

Patrimoines (SPAT) :

- Marie ROBERT (Chargé de mission « Milieux aquatiques ») :
marie.robert@guadeloupe-parcnational.fr – (fixe) 0590 41 55 74 / (mobile) 0690 84 78 38

Un rapport de mission sera fourni à l'issue de la mission explicitant la localisation et la description des prélèvements effectués.

L'ensemble des données collectées seront mises à la disposition du Parc National de la Guadeloupe à la fin du projet :

Une liste de l'ensemble des espèces identifiées lors de cette étude, avec les coordonnées GPS, sera remise au Parc National de la Guadeloupe sous format tableur compatible (**masque de saisi fourni par le PNG**) pour intégration dans sa base de données et le SINP. Le Service Informatique du PNG est référent sur ce dossier.

Article 11

Toutes les publications qui découleront de ces études devront mentionner l'autorisation du Parc National de la Guadeloupe dans la rubrique « remerciements ». Une version PDF de ces publications sera adressée au Parc National.

Article 12

Ce projet scientifique assure la totale gratuité d'accès aux sites sous la responsabilité du Parc National de la Guadeloupe et des concessions partenaires pour l'entièreté de la durée de l'autorisation.

Article 13

Le chef du Pôle Terrestre et la responsable du Service Patrimoines sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution de la présente autorisation qui sera publiée au recueil des actes administratifs de l'établissement public du Parc National de la Guadeloupe et notifiée aux intéressés.

Fait à Saint-Claude, le 11.04.2022.

La Directrice

Le Directeur Adjoint



Valérie SÉNÉ

Conformément à l'article R.421-5 du code de justice administrative, la présente autorisation peut être contestée devant le tribunal administratif compétent dans un délai de deux mois à compter de sa date de notification.

-Macrophytes¹ : Seules les plantes non identifiables sur site feront l'objet d'un emport en dehors du cœur de parc.

L'échantillonnage est fonction de la superficie du milieu.

Pour un même taxon, 3 échantillons maximum par plan d'eau seront prélevés comprenant si possible fleurs et fruits.

Les échantillons seront conservés dans de l'éthanol.

-Invertébrés² : 12 échantillons maximum effectués par site selon la technique du haveneau ou la technique du troubleau. Un fauchage sera autorisé sur les herbacées terrestres au poutour de l'étang (maximum 2 mètres de distance) sur une surface globale de moins de 10 % de la surface de l'étang pour récupérer d'éventuels odonates ou diptères .

Un premier examen des échantillons d'invertébrés sera réalisé sur site pour relâcher les espèces protégées(*Protoneura romanae*, etc...)

La connaissance sur les invertébrés étant faible, un emport des échantillons sera réalisé pour une détermination en laboratoire et les échantillons seront conservés dans de l'éthanol. En effet, il est techniquement impossible de les identifier sans les observer à la binoculaire (sauf exception)– et les tuer pour observer ces critères. De plus, afin de répondre à des questions d'écologie fonctionnelle, une estimation rigoureuse du nombre d'individus de chaque espèce est nécessaire ce qui ne peut qu'être réalisé au laboratoire sur individus morts.

Article 6

L'opérateur prendra également les dispositions matérielles nécessaires pour éviter tout impact sur la faune et la flore environnante.

Article 7

Le cas échéant, l'autorisation ne dispense pas le responsable de l'étude de demande de dérogation pour la capture ou l'enlèvement, la destruction, la perturbation intentionnelle de spécimens d'espèces animales protégées (Cerfa n° 13616*01).

Article 8

L'autorisation est accordée à compter de sa date de signature et jusqu'à la fin de la période de collecte prévue le 22 avril 2022.

Si l'ensemble des prélèvements ne pouvait être réalisé pendant cette période, le demandeur formulera par écrit une demande de prolongation de l'arrêté.

Article 9

Le responsable des prélèvements devra porter un brassard « partenaire Parc National de Guadeloupe » lors de ses activités en cœur de parc (à retirer à l'accueil aux heures d'ouverture - Montéran - 97120 Saint Claude).

Article 10

Le responsable de l'étude veillera à tenir le Parc national de Guadeloupe informé des sites de prélèvements et des résultats obtenus par l'intermédiaire du Service

1 Définis par Bryophytes et Phanérogames. Les algues filamenteuses ne seront pas prélevées.

2 Des morceaux de plantes et de sédiments peuvent se retrouver dans les échantillons