



Pôle Universitaire de Martinique

**FACULTÉ DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES DE
SCHÆLCHER**

École doctorale 686

DOCTORAT EN GÉOGRAPHIE

Spécialité Biogéographie et Écologie

Sous la direction de M. Le Professeur Philippe JOSEPH



**Contribution à la connaissance des milieux humides des Petites
Antilles : l'exemple des mares de la Martinique**

Présenté par Peguy MAJOR

Membre du Jury

Micheline Hotyat, Professeure émérite, Université Sorbonne Nouvelles

Rapporteur

Yves Petit-Berghem, Professeur des Universités, Ecole Nationale Supérieure de
Paysage (ENSP)

Rapporteur

Stoica Ilie-Adrian, Chercheur Institut de recherche biologique Cluj-Napoca,
Roumanie

Rapporteur

Philippe Joseph, Professeur des Universités, Université des Antilles

Directeur de Thèse

Claire Hellio, Professeure des Universités, Université de Bretagne Occidentale

Examinatrice

Bertrand Sajaloli, Maître de Conférence, Université d'Orléans

Examineur

Olivier Dehoorne, Maître de Conférence, Université des Antilles

Examineur



Pôle Universitaire de Martinique
FACULTÉ DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES DE
SCHËLCHER
École doctorale 686
DOCTORAT EN GÉOGRAPHIE
Spécialité Biogéographie et Écologie
Sous la direction de M. Le Professeur Philippe JOSEPH

Contribution à la connaissance des milieux humides des Petites Antilles : l'exemple des mares de la Martinique

Présenté par Peguy MAJOR

| | |
|--|--------------------|
| Micheline Hotyat , Professeure émérite, Université Sorbonne Nouvelles | Rapporteur |
| Yves Petit-Berghem , Professeur des Universités, Ecole Nationale Supérieure de Paysage (ENSP) | Rapporteur |
| Stoica Ilie-Adrian , Chercheur Institut de recherche biologique Cluj-Napoca, Roumanie | Rapporteur |
| Philippe Joseph , Professeur des Universités, Université des Antilles | Directeur de Thèse |
| Claire Hellio , Professeure des Universités, Université de Bretagne Occidentale | Examinatrice |
| Bertrand Sajajoli , Maître de Conférence, Université d'Orléans | Examinateur |
| Olivier Dehoorne , Maître de Conférence, Université des Antilles | Examinateur |

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche n'aurait pas pu être mené à bien sans les contributions d'hommes et de femmes de remarquables qualités.

En tout premier lieu, nous tenons à remercier notre directeur de recherche M. le Professeur Philippe Joseph qui a cru en nos capacités et nous a accueillie au sein de son laboratoire. Nous avons trouvé auprès de lui, et auprès des membres de son équipe, de l'écoute, de l'attention et de la bienveillance. Il a su nous initier aux questionnements, point clef de la recherche scientifique, et nous a équipée afin que l'apprentie-chercheuse que nous étions devienne plus aguerrie. Merci cher Professeur Joseph !

Nous avons bénéficié de l'aide des autres chercheurs du département de géographie que nous voulons chaleureusement remercier, parmi eux : M. le Professeur Pascal Saffache, MM. Jean-Valéry Marc, Olivier Dehoorne.

Nous remercions les doctorants avec qui nous avons passé d'inoubliables moments. Merci tout particulièrement à Jean-Philippe Claude qui a accepté de nous accompagner sur « le terrain », et nous a permis d'accéder à des mares éloignées de routes. Cette collaboration a débouché sur une publication. Merci Jean-Philippe !

D'autres collègues, ami.e.s et informateurs ne sont pas tous nommément remerciés. Pour autant, ils ne sont pas oubliés car ils ont prodigué conseils et encouragements, Ils m'ont manifesté une grande empathie. Je salue leur présence à mes côtés dans les moments de doute et de découragement. L'un d'entre eux, Alex Calixte, responsable du Patrimoine de la ville de Sainte-Anne, a mis à ma disposition des données en sa possession, et m'a conduite vers des mares de sa commune.

Enfin des proches ont droit à nos plus vifs et profonds remerciements. Mes deux fils qui ont été privés de moments de présence de leur mère, et à qui je dédie ma réussite. Bien évidemment mes parents qui n'ont assuré d'encouragement sans faille ; mes sœurs et frère qui, à leur façon, ont été des soutiens invétérés.

À toutes et à tous, merci du fond du cœur !

SOMMAIRE

| | |
|---|-----|
| INTRODUCTION | 6 |
| CHAPITRE 1 : LES MILIEUX HUMIDES | 12 |
| 1.1 Définitions des milieux humides | 12 |
| 1.2 Typologie et inventaire des milieux humides | 19 |
| 1.3 Méthodes des inventaires des milieux humides | 25 |
| 1.4 Distribution spatiale des milieux humides | 27 |
| 1.5 Caractéristiques hydrogéomorphologiques des milieux humides | 36 |
| 1.6 Les plantes aquatiques des milieux humides | 38 |
| CHAPITRE 2 : UN TYPE DE MILIEU HUMIDE : LA MARE | 47 |
| 2.1 Définitions | 47 |
| 2.2 Origines, diversités et usages des mares | 48 |
| 2.3 Types et rôles des mares | 48 |
| 2.4 Dynamique morphologique et hydrologique de la mare..... | 63 |
| 2.5 Un écosystème peu étudié..... | 63 |
| 2.6 Les espèces végétales propres à la mare | 69 |
| 2.7 Menaces et gestion des mares | 74 |
| CHAPITRE 3 : MATERIEL | 80 |
| 3.1 Territoire d'étude : La Martinique..... | 82 |
| 3.2 Relief et paysage | 82 |
| 3.3 Les systèmes édaphiques (les sols) | 86 |
| 3.4 Facteurs climatiques | 94 |
| 3.5 Le réseau hydrographique | 98 |
| 3.6 Etude des mares anthropisées en milieu insulaire | 101 |
| 3.7 La végétation aquatique dans les mares martiniquaises | 114 |
| CHAPITRE 4 : METHODES | 142 |
| 4.1 Mode d'investigation | 142 |
| 4.2 Limites de la méthodologie existante | 144 |
| 4.3 Méthodologie de l'acquisition des données | 145 |
| 4.4 Inventaire de terrain | 147 |
| 4.5 Inventaire et suivi de la flore aquatique | 154 |
| 4.6 Traitement et analyse des données | 155 |
| CHAPITRE 5 : RESULTATS | 157 |
| 5.1 Cartographie à l'échelle de la zone d'étude | 157 |
| 5.2 Prospection de terrain | 175 |
| 5.3 Inventaire des espèces végétales aquatique | 198 |
| CHAPITRE 6 : DISCUSSION | 223 |
| 6.1 Typiques des mares en insularité géographique | 223 |
| 6.2 Distribution des végétaux aquatiques..... | 249 |
| 6.3 Gestion pour la préservation et la restauration des mares | 238 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES | 242 |
| BIBLIOGRAPHIE | 247 |
| LISTE DES FIGURES | 281 |
| LISTE DES TABLEAUX..... | 286 |
| TABLE DES ANNEXES..... | 290 |
| ANNEXES | 290 |
| INDEX | 317 |

RÉSUMÉ

Notre thèse porte sur l'étude des mares de la Martinique. Autrefois, elles ont été creusées et entretenues pour répondre à des besoins à des usages domestiques et agricoles. Face à l'anthropisation, ces milieux humides d'eau douce sont en constante diminution et sont aujourd'hui menacés et/ou dégradés.

L'influence et l'évolution actuelle de ces écosystèmes lenticques dans un paysage fortement anthropisé constituent un enjeu environnemental important tant au niveau de la ressource en eau que de la biodiversité. Ce qui les place au cœur des enjeux de préservation et de conservation. Nous avons opté pour une approche pluridisciplinaire intégrant l'écologie afin d'apporter des réponses à ces problématiques liés à ces biotopes aquatiques.

Les facteurs physico-chimiques ne seront pas considérés dans ce travail de recherche.

La première étape de ce travail est de recenser les mares à l'aide de documents cartographiques et d'une prospection de terrain ce qui permet de décrire leurs principales caractéristiques (géomorphologie, hydrologie et végétation). Ces inventaires seront exploités pour dresser une carte à l'échelle 1/25000^e – au référentiel géographique : WGS_1984_UTM_20N de la répartition des mares à l'aide du logiciel QGIS version 3.10.5.

Les premiers résultats obtenus par un recensement cartographique (carte 1/25000^e) révèlent un chiffre approximatif d'environ 600 mares sur une surface de 1128 km². La mare se distingue par sa superficie comprise entre 1 m² et 5000 m². La deuxième étape s'intéresse à la diversité végétale. Ces milieux abritent principalement des espèces exotiques envahissantes. L'inventaire floristique a permis de recenser huit espèces. Ces deux étapes permettront de connaître le fonctionnement des mares, d'en établir une typologie et de réaliser une carte de la répartition des mares.

Ce n'est pas la perte d'utilité qui a entraîné la disparition de ces mares, mais plutôt la méconnaissance de leurs rôles dans notre environnement. Ce travail de recherche est nécessaire pour une gestion assez urgente de ce type de milieu humide par l'augmentation des menaces qui pèsent sur cet écosystème aquatique.

Mots-clés : mares – végétation aquatique – anthropisation – cartographie – gestion.

ABSTRACT

Our thesis gives the details on a the study of ponds in Martinique. The ponds were dug up and cared for, in order to meet the need of various domestic and agricultural uses, which included water. In light of anthropisation, these fresh water wetlands are constantly shrinking and are now being threatened by degradation.

The influences and changes brought about by these still water ecosystems in this highly anthropized landscape, constitutes to a major environmental issue pertaining to diversity and water resources. This in turn places them at the heart of preservation and conservation issues. A multidisciplinary approach to integrate ecology to these aquatic biotypes, has been chosen in order to provide answers to these problems. The physico-chemical factors of these ponds, will not be addressed in this research.

The first phase of this project is to identify the ponds using a cartographic documents a field survey, in order to explain their main characteristics, such as geomorphology, hydrology and vegetation. These inventories will be used to draw up a map at the 1/25000th scale with the geographical reference : WGS_1984_UTM_20N of the distribution of the ponds using the QGIS software version 3.10.5. The first set of resultus obtained from the cartographic survey (1/25000th) showed an approximate number of about 300 ponds in a 1128km² area. The pond is distinguished by its surface area between 1m² and 5000 m². In the field, we have examined 42 ponds.

The second phase focuses on plant diversity. These areas are mainly home to invasive species The florstic inventory identified eight species. These two stages will make it possible to understand the functioning of the ponds, and to establish a typology and to produce a map of distribution of ponds.

It is not the loss of utility that has led to the disappearance of these pond, but rather the lack of knowledge of their roles in our environment. This approach is necessary for a quite urgent management of wetlands, which is due to the increase of issues which threatens them.

Keywords : pond – aquatic vegetation – anthropisation – cartography – management.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

CNRC : Conseil national de recherches du Canada

EPCN : European Pond Conservation Network

PTWI : indice topographique d'humidité des précipitations

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

EPCN : European Pond Conservation Network

SAGE : schéma d'aménagement et de gestion de l'eau

SDAGE : schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux

REMA : Restauration et Entretien des Mares des Antilles

PNRM : Parc naturel régional de la Martinique

OEPP : Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes

RCP : Representative Concentration Pathways

ZNIEFF : Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

DREAL : Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

INTRODUCTION

Les mares sont des petites étendues d'eau d'une superficie comprise entre 1 m² et 5000 m², leur profondeur est inférieure à 2 mètres (Sajaloli *et al.*, 2001). Elles constituent un type d'écosystème lentique intermédiaire entre les marécages dépourvus de zone limnétique et les étangs dans lesquels la zone limnétique occupe l'essentiel de la surface (Ramade, 1998). Elles font partie des systèmes palustres (Gramond *et al.*, 2005). La profondeur d'eau ne constitue pas un critère définissant les mares parce qu'elle est variable qu'elles soient d'origine naturelle ou – ce qui est souvent le cas – artificielle, étant donné que cette étendue d'eau est creusée par l'homme pour répondre aux besoins de l'élevage et/ou des cultures (Brönmark et Hansson, 2002 ; Van Dam *et al.*, 2012).

L'eau est l'élément important des mares. Leur approvisionnement provient principalement de la pluie ; ce qui explique le rôle essentiel du climat dans leur formation¹. Pour autant, les mares subissent des variations de leur niveau lorsque la température augmente et les précipitations s'amenuisent. En effet, en Martinique, selon nos observations ainsi que celles des agriculteurs interrogés, le régime hydrologique de la mare est caractérisé par une alternance d'une phase de remplissage correspondant à la saison de l'hivernage – Juillet à Novembre – et d'une phase d'assèchement – Février à Avril – durant la saison du carême. La température et la disponibilité de l'eau dépendent donc du climat (Woodward *et al.*, 2010). Par conséquent, lorsque la zone littorale est étendue par rapport à la zone limnétique. La profondeur de la mare est considérée faible. C'est pourquoi, des rhizophytes peuvent couvrir une part importante du biotope permettant leur développement sur tout le fond (Oertli et Frossard, 2013). Ces écosystèmes complexes et polymorphes peuvent être permanents ou temporaires en fonction des variations météorologiques et climatiques (Williams *et al.*, 2004 ; Barnaud et Fustec, 2007).

La mare s'inscrit dans un contexte climatique, topographique et géologique du bassin versant qui l'alimente (Musy et Higy, 2004). Les processus d'évaporation, de ruissellement et d'infiltration dans le sol, des eaux de pluie dépendent de la nature du sol, de la topographie et du couvert végétal. À toute mare correspond une phytocénose lentique, notamment des hydrophytes composant la végétation flottante et/ou fixée (Oertli et Frossard, 2013). Comme de nombreux milieux aquatiques anthropisés, ces écosystèmes lenticques sont sujets à l'invasion d'espèces végétales introduites (Hutchinson, 1975 ; Sarat *et al.*, 2015). L'attention portée aux caractéristiques de ce milieu aquatique nous conduit à relever que, quand les mares ne sont pas entretenues, elles peuvent se combler assez rapidement, car la végétation produite chaque année

¹ La nappe phréatique y contribue également.

se dépose sur le fond sous forme de matière organique. Par ailleurs, l'évolution dynamique de ce type de milieu humide résulte de deux processus : l'atterrissement et l'assèchement (Oertli et Frossard, 2013). Le comblement et le remblaiement participent à la disparition de milliers de mares (Barnaud et Fustec, 2007). Ce processus est en œuvre dans tous les pays du monde. Aux États-Unis, le comblement des « prairies potholes », qui sont des mares naturelles formées au moment de la déglaciation à la fin du Würm (Finlayson *et al.*, 2018), pour favoriser l'agriculture conventionnelle, ultramécanisée, a présenté de graves conséquences pour l'avifaune nord-américaine qui séjournait dans ces mares naturelles, qui leur assuraient de la nourriture lors de leurs migrations automnales ou printanières (Batt *et al.*, 1989).

Le nombre de mares est estimé à 3 milliards avec une superficie de 100 à 1000 m² soit 20 par km². Leur densité est particulièrement élevée en Europe, à l'Est des États-Unis et du Canada, en Afrique centrale, en Amérique du Sud, en Chine orientale, au Japon, au Nord et à l'Est de la Russie. Elle est nettement plus faible en Afrique du Nord et du Sud et en Australie (Oertli et Frossard, 2013 ; Céréghino *et al.*, 2014). En outre, ce biotope aquatique est en constante diminution ou en augmentation, et est aujourd'hui menacé et/ou dégradé dans un paysage fortement anthropisé (Oertli et Frossard, 2013). Quand elles ne sont pas ou plus entretenues, elles s'assèchent progressivement, puis s'effacent complètement du paysage. Beaucoup de mares sont remplacées par des espaces urbains et agricoles (Oertli et Frossard, 2013). Les mares localisées dans l'espace agricole, sont hypothétiquement exposées à ces différents facteurs d'évolutions (atterrissement, abandon, comblement) par rapport aux pratiques de l'agriculteur. Toutes ces causes entraînent la disparition de plusieurs mares (Oertli et Frossard, 2013).

En Martinique, les mares sont d'origine anthropique et datent de moins de 50 ans (Gayot et Laval, 2006). Au Nord, elles ont surtout été créées pour l'irrigation agricole liée à la culture de la canne. Elles sont beaucoup plus nombreuses dans les communes du Sud, influencées par le bioclimat sub-humide. Elles ont été creusées pour répondre aux besoins en eau et correspondent à une multitude d'usages : abreuvement d'animaux, irrigation domestique ou agricole, extraction de roche volcanique, de gravier (Gayot et Laval, 2006). Actuellement, les mares ont perdu une grande partie de leurs fonctions, suite à l'arrivée de l'eau courante et à la construction du barrage de la Manzo.

– commune de Ducos – dans les années 1980 pour irriguer les zones agricoles sud-est de l'île. La retenue couvre 82 ha (remplissage moyen) entre les communes de Ducos et du François, pour une capacité totale de 8,1 millions des m³ d'eau. Sa profondeur maximale est de 22 mètres. Le barrage est essentiellement alimenté par une dérivation effectuée à partir de la rivière Lézarde.

Dans le cadre de cette étude, deux disciplines ont été abordées (la biogéographie et l'écologie). Cependant, d'autres approches peuvent être possibles notamment l'approche socio-anthropologique (Van dam, 2012). Par-là, nous entendons la manière dont les habitants de l'île catégorisent les milieux humides et singulièrement les mares ou typologie populaire, la construction de mythes et légendes autours de ces étendues d'eau, les contes et les proverbes qu'ils élaborent, les vertus pharmacologiques des eaux des mares, etc. Les mares ou *mà dlo* (en créole martiniquais) ne laissent pas indifférents ceux qui sont amenés à s'en servir et qui sont les héritiers de ces Amérindiens premiers habitants de l'île. La connaissance que nous fournit la raison nous amène à dire que l'homme martiniquais a, depuis fort longtemps, un étroit rapport avec ce milieu qui contribue non seulement à son épanouissement bio-psycho-social, mais qui participe également au développement de son imaginaire. D'où l'impact de la mare dans l'inconscient collectif.

Un premier recensement sur les milieux humides, effectué en 2006 par le PNRM², a inventorié sur la base de la typologie et la répartition des classes de superficies des milieux humides de la Martinique : 724 mares de moins de 10 ares (Gayot et Laval, 2006). Une autre étude réalisée en 2015 a permis de recenser 1089 mares et étangs d'eau douce en 2000 et 1178 en 2012. Cependant, ce deuxième inventaire ne permet pas de distinguer le nombre de mares et des étangs d'eau douce. Par conséquent, ces chiffres demeurent inexploitable (*Impact Mer*, 2015). Ces écosystèmes lenticques, désormais fragilisés par l'anthropisation, font partie des types de milieux humides, les plus menacés par le changement climatique (Williamson *et al.*, 2009 ; Woodward *et al.*, 2010). Il faut également indiquer que les mares sont reconnues pour leur biodiversité unique et riche. Ainsi, c'est un habitat privilégié pour la faune. Elles abritent aussi une flore très diversifiée (Chaïb *et al*, 1997). En revanche, en Martinique, elles sont colonisées par des espèces végétales introduites. Il existe une profusion de termes pour nommer une espèce introduite : *exotique, introduite, invasive, non native, non indigène, nuisible* ou *naturalisée*. Selon les spécialistes du domaine, il s'agit d'une espèce qui apparaît en dehors de son aire native de distribution et qui se maintient sans l'intervention de l'homme, elle devient un agent de perturbation et nuit à la diversité biologique autochtone.

De façon générique, diverses espèces végétales servent d'ornement lorsque la mare a perdu son usage d'abreuvement pour le bétail. Une liste d'espèces exotiques envahissantes a été établie (Maddi, 2014). Certaines sont connues pour des espèces potentiellement invasives. Elles peuvent former un tapis jusqu'à l'envahissement total de la mare. Une fois installées, elles perturbent le fonctionnement de ce biotope aquatique. C'est le cas pour les hydrophytes libres

² Le Parc Naturel Régional de la Martinique né en 1976. Il est un des 54 parcs naturels régionaux français.

à feuille flottantes ou nageantes : *Lemna polyrhiza*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta* ; les hydrophytes fixées à feuilles flottantes ou submergées : *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, *Micranthemum umbrosum*, *Nymphaea ampla* ; de même que le type héliophytique qui est représenté par une seule espèce *Cyperus papyrus* (Den Hartog et Segal, 1964 ; Wiersema *et al*, 2008 ; Cronk et Fenessy, 2001). Cela dit, l'UICN recense comme la seule espèce envahissante, l'*Eichhornia crassipes* (Soubeyran, 2008). Or, pour le botaniste Franck A. Maddi, il existe quatre espèces avérées ou potentiellement invasives en Martinique : *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*. De telles observations ont été communiquées à l'UICN en 2014.

Les mares, objet de notre étude, constituent un type de milieu humide à la fois remarquable et complexe de part de sa petite taille. Depuis les rapports d'inventaire réalisés, en 2006 (Gayot et Laval, 2006) et 2015 (Impact Mer, 2015) sur les milieux humides de la Martinique, peu d'études ont porté sur les mares de l'île.

Notre travail de recherche s'inscrit dans la continuité des études précédentes. Il vise à une meilleure connaissance de la mare et de sa végétation, afin de mieux comprendre cet écosystème très singulier d'une part, et d'en connaître la dynamique dans une perspective de préservation et de conservation.

Sur la base de ces principes géosystémiques, le chercheur scientifique interroge, dans ce travail, les champs des possibilités de préservation et de conservation de ce type de milieu humide particulier, ce qui revient à mieux connaître cet écosystème singulier dans un espace fragilisé, du fait de son exigüité et de sa forte anthropisation, afin de le protéger pour les générations à venir. La logique de la préservation guide l'objectivité de notre travail empirique et théorique, en appréhendant l'interaction homme-écosystème, et l'écosystème dans son fonctionnement intrinsèque.

Notre questionnement trouvera appui sur l'hypothèse suivante : l'anthropisation est responsable à la fois de la disparition et de la création de beaucoup de mares en Martinique.

Afin d'apporter des réponses objectives à notre problématique, notre protocole méthodologique se décline en deux étapes : une approche cartographique et une approche de terrain (Oertli et Frossard, 2013). D'abord, nous nous sommes basés à la fois sur des documents cartographiques et photographiques (cartes géographiques et photographies aériennes). Pour cela, nous avons utilisé un logiciel Système d'Information Géographique : Qgis³ comme outil cartographique.

³ QGIS, anciennement connu sous le nom de Quantum GIS, est une application de système d'information géographique (SIG) libre et open-source (gratuit) permettant de visualiser, modifier et analyser des données géospatiales.

Nous avons importé à partir de ce dernier sur un site de cartographie en ligne Géoportail⁴ (photographies aériennes, carte topographique IGN⁵ de 2017 et de 1950) sur ledit logiciel dans le but de géolocaliser et de calculer la superficie de toutes les mares. Seules les surfaces comprises entre 1 m² et 5000 m², selon la définition scientifique des mares, ont été retenues pour notre étude. Ensuite, une prospection de terrain a permis de caractériser les mares tant du point de vue biologique (floristique) que physique. L'objectif de ce procès d'étude est :

- d'inventorier le nombre de mares sur le territoire de la Martinique ;
- de connaître leurs caractéristiques géométriques
- de mettre à jour l'inventaire de la flore aquatique afin d'identifier éventuellement d'autres espèces potentiellement invasives et de les cartographier ;
- de comparer les résultats obtenus avec les résultats antérieurs.

L'architecture de notre travail de thèse se construit comme suit :

Après l'introduction générale, *la première partie* est consacrée au cadre théorique sur la base d'une revue de la littérature scientifique. Il se compose de 2 chapitres :

Le chapitre 1 présente la diversité des milieux humides. Nous rappelons ici la définition d'un milieu humide, les types, la répartition spatiale et les fonctions écologiques.

Le chapitre 2 définit et décrit les principales caractéristiques d'un type de milieu humide dans le cas présent un écosystème lentique, la mare. L'étude se concentre ensuite sur la typologie des mares, la variété de la flore aquatique et met l'accent sur les mares et le climat qui joue un rôle fondamental dans la formation des mares. Les menaces pesant sur les mares et l'impact du réchauffement climatique y sont abordés.

La deuxième partie décrit le matériel et les méthodes :

Le chapitre 3 qui la constitue présente la zone d'étude et le chapitre 4 expose les méthodes utilisées pour mener ce travail de recherche.

La troisième partie est dédiée aux résultats obtenus.

Enfin, *la quatrième partie* est consacrée à une discussion générale sur l'ensemble des résultats. La conclusion et quelques perspectives envisageables nous permettent, d'esquisser les enjeux géographiques et écologiques de l'étude des mares en insulaires.

⁴ Plateforme nationale de diffusion des données couvertes par la directive INSPIRE, directive européenne visant à faciliter la diffusion de données géographiques de référence de l'ensemble du territoire français : <https://www.geoportail.gouv.fr/>. Consulté le 02/02/2018.

⁵ Institut National de l'Information géographique et forestière.

PARTIE I : ÉTAT DES CONNAISSANCES

CHAPITRE 1 : LES MILIEUX HUMIDES

1.1 Définitions des milieux humides

Le terme de « milieu humide » émane du terme anglais *wetland*. Les milieux humides possèdent trois éléments fondamentaux :

- la présence d’une eau stagnante pendant la période importante des apports des précipitations ;
- un sol hydromorphe ;
- et une végétation adaptée au sol gorgé d’eau.

Les milieux humides sont inégalables à cause de leurs conditions hydrologiques et de leur rôle d’écotones entre les zones terrestres et les zones aquatiques (Mitsch et Gosselink, 2015). Les milieux humides sont des écosystèmes de transition entre les habitats aquatiques en eau profonde, et les habitats terrestres. Ils sont tous les deux différents et fortement dépendants l’un de l’autre. Ils sont en général situés le long des rivières, des lacs, des étangs et des estuaires, mais ils se localisent aussi sur des pentes douces ou dans des dépressions isolées entourées de régions montagneuses. En somme, nous pouvons observer que les milieux humides s’installent le long d’un gradient naturel d’humidité du sol, entre les zones d’eau profonde inondées et les terres sèches (Tiner, 1991). Ce sont des écosystèmes aquatiques complexes (Mitsch et Gosselink, 2000), ardu à délimiter et à déterminer les sens (Barnaud et Fustec, 2007). En effet, il est difficile de définir avec exactitude un milieu humide, à cause de leur grande étendue géographique et de la grande variété des conditions hydrologiques dans lesquelles ces milieux humides se trouvent (Mitsch et Gosselink, 2015). Nous pouvons facilement reconnaître, par exemple, un marais d’eau douce envahi par des herbacées, un marécage de cyprès, avec des arbres majestueux ornés de mousse espagnole et debout dans l’eau jusqu’aux genoux (Mitsch et Gosselink, 2015). Ces deux écosystèmes aquatiques ont des caractéristiques communes : une eau peu profonde ou un sol saturé, des matières organiques végétales en décomposition et diversité de plantes et animaux adaptées aux conditions saturées. Les définitions d’un milieu humide impliquent ainsi trois éléments : la présence d’eau, un sol hydromorphe et la présence d’hydrophytes.

Quoi que les notions d’eau peu profonde ou de zones saturées, de sols hydromorphes et de végétation aquatique d’un milieu humide, demeurent assez élémentaires. La réunion de ces trois facteurs est difficile pour trouver une définition précise, à cause de six particularités qui les différencient des autres écosystèmes (Mitsch et Gosselink, 2015) :

- la variation saisonnière de la profondeur de l’eau ;

- la variation considérable de la taille des milieux humides ;
- les adaptations des végétaux des milieux humides ;
- sa position d'écotone ;
- la variation de la localisation géomorphologique des milieux humides ;
- les conditions des milieux humides sous l'influence humaine.

Les limites supérieures et inférieures sont des limites injustifiées dans toute définition. Peu d'elles décrivent convenablement tous les milieux humides. Ce sont les alentours plus humides ou plus secs qui posent le problème de la définition (Mitsch et Gosselink, 2015). Un autre élément a rendu la définition particulièrement discutée est la périodicité des inondations. La contribution de certains domaines de la recherche scientifique est aussi utile, pour une définition précise des milieux humides. L'hydrologie, la pédologie ou la botanique doivent être pris en considération dans la formulation des définitions. Par exemple, l'hydrologue mettrait l'accent sur la fréquence et la durée des inondations. Le pédologue axerait son expertise sur la présence de certains sols, principalement des sols très mal drainés. Pour sa part, le botaniste se centrerait sur certaines espèces végétales, et sur les conditions d'humidité favorisant leur colonisation (Lefor et Kennard, 1977). Ainsi, une multitude de définitions des milieux humides pourrait être élaborée en fonction de différents domaines d'expertise ou d'intérêt :

« Les définitions actuelles des milieux humides sont largement fondées sur la biologie, puisque les professionnels de la biologie, de la faune et de la botanique ont été parmi les premiers à reconnaître les valeurs que les milieux humides apportent à la société dans leur état naturel et inchangé » (Tiner, 2015).

Ce sont des milieux prédisposés *« [à] des inondations permanentes ou périodiques ou à une saturation prolongée des sols suffisante pour l'établissement d'hydrophytes et/ou le développement de sols ou de substrats hydriques [,] à moins que les conditions environnementales ne soient telles qu'elles les empêchent de se former »* (Tiner, 2017).

Le milieu humide désigne aussi :

Tous les habitats aquatiques d'eaux stagnantes (lenticues) peu profonds : mares, marais, marécages ou encore lagunes littorales, auxquels s'adjoignent les rives des cours d'eau, les ripisylves, les bras morts de la plaine d'inondation fluviale, la zone littorale des lacs quand celle-ci est étendue et de très faible relief. En définitive, les zones humides constituent donc souvent des mosaïques d'écosystèmes présentant de multiples connexions au niveau desquelles existent de nombreux types d'écotones (Ramade, 2008).

Ainsi, il n'existe pas de définition unique et mondialement reconnue d'un milieu humide (Mitsch et Gosselink, 2015). Des termes comme marécage, marais d'eau douce, tourbière

minérotrophe, tourbière, étangs et forêt de mangroves ont été couramment utilisés pendant longtemps pour définir les milieux humides, et sont continuellement utilisés à tort. Cependant, la plupart de ces termes n'ont pas de définitions internationalement approuvées et peuvent vouloir dire autre chose (Locky *et al.*, 2005). Pour autant, des définitions officielles ont été rédigées par des scientifiques et des organismes fédéraux aux États-Unis et au Canada et dans le cadre de la convention internationale de Ramsar (Mitsch et Gosselink, 2015). Elles sont utilisées pour des raisons scientifiques et de gestion. Le terme « milieu humide » n'a donc pas une signification unique, scientifique et universelle, parce qu'il a été employé par des scientifiques de diverses disciplines, des organismes de ressources ayant des intérêts multiples, des organismes de conservation et d'autres pour décrire des terres plus humides que les terres sèches (Tiner, 2017). Il est impossible de répondre complètement à cette question : « Qu'est-ce qu'un milieu humide ? ». De nombreux termes et de définitions sont fréquemment divergents et même déconcertants. Cependant, les définitions sont fondamentales pour la compréhension et la bonne gestion de ces milieux humides (Mitsch et Gosselink, 2015). Le mot milieu humide est apparu au milieu du XX^e siècle. Il a été mentionné dans l'une des premières publications « *Wetlands of the United States* » (Shaw et Fredine, 1956). De nombreuses significations existent pour expliquer un milieu humide. À partir des années 1960, de nouvelles définitions ont été énoncées à des fins réglementaires pour déterminer les limites de ces milieux humides (Tiner, 2017). La définition d'un milieu humide avec ses limites (appelées « délimitation » aux États-Unis) sont devenues essentielles, à l'instant où l'Homme a pris en compte l'importance de ces écosystèmes afin de mettre en place des lois pour leur protection contre d'autres disparitions. Toutefois, estimer les limites de définition d'une forêt, d'un désert ou d'une prairie, c'est s'appuyer sur des critères scientifiques soutenables. C'est également valable pour la définition d'un milieu humide, autant que faire se peut (Mitsch et Gosselink, 2015). Des définitions exactes des milieux humides sont impératives pour les scientifiques et les gestionnaires :

- Le scientifique se soucie d'une définition « maniable », mais précise, qui facilite la classification, l'inventaire et la recherche.
- Le gestionnaire a besoin de définitions réglementaires pour la préservation et la conservation des milieux humides (Mitsch et Gosselink, 2015).

L'une des premières définitions scientifiques américaines du mot milieu humides a été présentée par le U.S. Fish and Wildlife Service en 1956 dans une publication souvent appelée Circular 39 (Shaw et Fredine, 1956) :

Le terme « zones humides » désigne les basses terres couvertes d'eaux peu profondes et parfois temporaires ou intermittentes. Ils sont désignés par des noms tels que les marais, les marécages,

les tourbières, les prairies humides, les nids-de-poule, les marécages et les terres de débordement des rivières. Les lacs et les étangs peu profonds, dont la végétation émergente est habituellement caractéristique visible, sont inclus dans la définition, mais les eaux permanentes des cours d'eau, des réservoirs et des lacs profonds, ne sont pas incluses. Il n'y a pas non plus de zones d'eau si temporaires qu'elles n'ont que peu ou pas d'effet sur le développement de la végétation du sol humide.

Les chercheurs américains du U.S. Fish and Wildlife service en 1979, ont adopté une définition exhaustive possible après plusieurs révisions. Elle a été publiée dans un rapport intitulé *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States* (Cowardin et Golet 1995) :

Les milieux humides sont des terres de transition entre les systèmes terrestres et aquatiques où la nappe phréatique se trouve habituellement à la surface ou près de celle-ci ou où les terres sont recouvertes d'eaux peu profondes [...] Les milieux humides doivent avoir un ou plusieurs des trois attributs suivants : (1) au moins périodiquement, les terres abritent principalement des hydrophytes; (2) le substrat est principalement constitué d'un sol hydrique non drainé; et (3) le substrat est sans pétrole et est saturé d'eau ou recouvert d'eau peu profonde à un moment donné pendant la saison de croissance de chaque année.

Cette définition est importante parce qu'elle a introduit pour la première fois les notions de sols hydromorphes et de végétation hydrophytes. Ce qui a amené les scientifiques et les gestionnaires du Conseil national de recherches du Canada en 1995, à les définir avec justesse. Et elle est complète parce qu'elle intègre les descriptions de l'hydrologie, du sol et de la végétation d'une part et d'autre part elle a été construite pour les scientifiques et également les gestionnaires (Mitsch et Gosselink, 2015).

Les chercheurs canadiens, dont les travaux de recherche portent sur les grandes zones de tourbières du Nord, ont rédigé une définition nationale des milieux humides. Deux définitions ont fait l'objet d'une publication officielle dans le livre *Wetlands of Canada* par le Groupe de travail national sur les zones humides en 1988 :

Définition 1 :

« Terres qui ont la nappe phréatique à la surface du sol, près de celle-ci ou au-dessus de celle-ci ou qui sont saturées pendant une période suffisamment longue pour favoriser les milieux humides ou les processus aquatiques, comme l'indiquent les sols hydriques, la végétation hydrophytique et divers types d'activités biologiques adaptées à l'environnement humide ».

Définition 2 :

« Terres saturées d'eau suffisamment longtemps pour favoriser les milieux humides ou les processus aquatiques, comme l'indiquent les sols mal drainés, la végétation hydrophytique et divers types d'activités biologiques adaptées à un environnement humide (Mitsch et Gosselink, 2015).

Deux éléments sont rajoutés à cette première définition :

– une profondeur inférieure à 2 mètres des eaux peu profonde non couvert ;

– la présence d’eau pendant toute la croissance de cet écosystème et temporairement inondé.

La deuxième définition a été un peu revue comme base du système canadien de classification des milieux humides. Elle a été reprise et validée officiellement comme définition des milieux humides au Canada (Mitsch et Gosselink, 2015). En effet, suite à un nouveau débat sur ce qu’est un milieu humide, le Congrès américain a demandé à la *National Academy of Sciences*, au début des années 1990, de nommer un comité par l’intermédiaire de son principal organisme d’exploitation, le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), afin qu’il examine scientifiquement les caractéristiques des milieux humides. Celui-ci a eu trois missions :

- la justesse de la définition actuelle des milieux humides ;
- le bien-fondé de la science pour l’évaluation des fonctions hydrologiques, biologiques et autres fonctions des milieux humides ;
- la différence régionale dans les définitions des zones humides.

Ce comité a rédigé une autre définition scientifique et publiée dans son rapport en 1995 :

Un milieu humide est un écosystème qui dépend d’une inondation ou d’une saturation faible constante ou récurrente à la surface du substrat ou près de celle-ci. Les caractéristiques essentielles minimales d’un milieu humide sont une inondation ou une saturation récurrente et soutenue à la surface, ou près de celle-ci, et la présence de caractéristiques physiques, chimiques et biologiques reflétant une inondation ou une saturation récurrente et soutenue (Mitsch et Gosselink, 2015).

Cette définition a été employée officiellement dans une moindre mesure. En effet, elle reste la proposition scientifique la plus sophistiquée. Elle a utilisé comme pour la première définition du *Fish and Wildlife Service* des États-Unis, les termes « sols hydriques » et « végétation hydrophyte ». D’autres définitions pour la préservation et l’évaluation des milieux humides ont été élaborées par certains pays.

La Convention relative aux milieux humides, communément appelée Convention de Ramsar, un organisme gouvernemental international de plus de 90 pays, intéressé par la conservation des milieux humides dans le monde entier, a rédigé la définition suivante :

« Les milieux humides sont des “zones de marais, de tourbières minérotrophes, de tourbières ou d’eau, naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, avec de l’eau statique ou fluide, fraîche, saumâtre ou salée, y compris les zones d’eau marine dont la profondeur à marée basse ne dépasse pas 6 m” ».

« Les milieux humides « peuvent comprendre des zones riveraines et côtières adjacentes à des milieux humides, ainsi que des îles ou des plans d’eau de mer d’une profondeur de plus de 6 m à marée basse se trouvent dans les milieux humides » (Tiner, 2017).

Cette définition est assez ouverte, parce qu’elle a pris en compte la hauteur sans limite de la profondeur des eaux des milieux marins les écosystèmes lotiques et lenticles, en intégrant

beaucoup « d'habitats en eau profonde », de la définition américaine dans le concept Ramsar de zone humide. Elle intègre aussi les milieux humides anthropiques : Les étangs de poissons et de crevettes, les étangs d'élevage, les zones agricoles irriguées, les marais salants, les réservoirs, les gravières, les fermes d'épuration et les canaux.

Beaucoup de pays ont choisi cette définition, afin de favoriser la conservation des milieux humides, et de les qualifier de « zones humides d'importances internationales », selon les termes de la Convention de Ramsar. L'Australie définit :

Les zones humides sont des "terres en permanence ou temporairement sous l'eau ou gorgées d'eau. Les milieux humides temporaires doivent avoir des eaux de surface ou un engorgement suffisamment fréquent et/ou long pour affecter le biote. Ainsi, la présence, au moins parfois, de végétation hydrophytique ou l'utilisation par les oiseaux d'eau sont des attributs nécessaires".

En 1977, le Comité consultatif des zones humides a rédigé une autre définition qui a été adoptée pour l'inventaire des milieux humides en Australie-Occidentale :

Les milieux humides sont "des zones de sols gorgés d'eau de façon saisonnière, intermittente ou permanente ou inondées, qu'elles soient naturelles ou artificielles, fraîches ou salines, p. ex. sols gorgés d'eau, étangs, billabongs, lacs, marécages, marécages, estuaires, rivières et leurs affluents".

En 2010, la Nouvelle-Galles du Sud a intégré dans un document politique la définition suivante :

Les milieux humides sont des terres qui sont humides par les eaux de surface ou les eaux souterraines, ou les deux, pendant des périodes suffisamment longues pour que les plantes et les animaux qui s'y trouvent soient adaptés aux conditions humides et en dépendent pendant au moins une partie de leur cycle de vie. Ils comprennent les zones qui sont inondées de façon cyclique, intermittente ou permanente d'eau douce, saumâtre ou saline, qui se déplace généralement encore ou lentement, sauf dans les canaux de distribution tels que les ruisseaux à marée qui peuvent avoir des débits de pointe plus élevés.

Des chercheurs brésiliens ont publié dans un article de recherche la définition suivante :

Les zones humides sont des écosystèmes à l'interface entre les milieux aquatiques et terrestres ; ils peuvent être continentaux ou côtiers, naturels ou artificiels, inondés de façon permanente ou périodique par des eaux peu profondes ou constitués de sols gorgés d'eau. Leurs eaux peuvent être fraîches ou très ou légèrement salines. Les zones humides abritent des communautés végétales et animales spécifiques adaptées à leur dynamique hydrologique (Junk et al., 2014).

Des chercheurs chinois ont aussi publié la définition de Kuiyi Zhao (1999) dans *Mire of China* :

Les terres humides comme « un complexe naturel spécial avec trois propriétés interconnectées et interconfessées : la surface de la terre inondée de façon permanente par l'eau stagnante ou le sol imbibé d'eau, la croissance de plantes des milieux humides et des tourbières, et l'accumulation de tourbe ou le sol avec un horizon de gley évident (Zhao et al., 2010).

L'Administration nationale des forêts de la Chine a fixé des lois nationales pour la protection des zones humides, entérinées pour une application le 28 mars 2013, mais avec quelques modifications au regard de la définition de la convention de Ramsar des zones humides :

Les zones d'eau pérennes ou saisonnières, les zones d'eau et les zones d'eau de mer dont la profondeur à marée basse ne dépasse pas six mètres, y compris les marais, les milieux humides lacustres, les milieux humides fluviaux, les milieux humides côtiers et autres milieux humides naturels et artificiels qui constituent un habitat pour les espèces sauvages et les plantes sauvages protégées clés (Yanmei et Yue, 2014).

Le Comité permanent national des zones humides du Kenya définit les milieux humides comme :

Des zones de terres qui sont gorgées d'eau de façon permanente, saisonnière ou occasionnelle par des eaux douces, salines, saumâtres ou marines à une profondeur ne dépassant pas six mètres, y compris des zones naturelles et artificielles qui soutiennent des biotes caractéristiques (Kiai et Mailu, 1998).

La Nouvelle-Zélande d'après sa loi de 1991 indique les milieux humides comme : « *Les zones humides comprennent les zones humides en permanence ou par intermittence, les eaux peu profondes et les marges d'eau terrestre qui soutiennent un écosystème naturel de plantes et d'animaux adaptés aux conditions humides* ». Ce sens a été un peu corrigé, afin d'en simplifier l'emploi :

Les milieux humides sont un terme collectif désignant les zones humides de façon permanente ou temporaire, les eaux peu profondes et les marges des eaux terrestres. Les zones humides peuvent être fraîches, saumâtres ou salines, naturelles ou artificielles, et sont caractérisées dans leur état fonctionnel par des plantes et des animaux adaptés à la vie dans des conditions humides et gorgées d'eau (Thompson, 2012).

La Corée du Sud a publié une loi sur la conservation des zones humides, pour promouvoir leur conservation et leur gestion pertinente, principalement pour la protection de la diversité biologique en 2008. La loi délimite les milieux humides comme : « *La zone dont la surface est recouverte de façon permanente ou temporaire par l'eau douce, les eaux de l'estuaire ou l'eau salée, et fait référence aux terres humides intérieures et aux terres humides côtières* ».

L'Afrique du Sud a confirmé la définition Ramsar des milieux humides comme base d'un système national de classification des zones humides : « *Zone de marais, de tourbières ou d'eau, naturelle ou artificielle, permanente ou temporaire, avec de l'eau statique ou fluide, fraîche, saumâtre ou salée, y compris les zones d'eau de mer dont la profondeur à marée basse ne dépasse pas dix mètres* » (Tiner, 2017).

L'Afrique du Sud propose une autre définition selon la loi nationale sur l'eau, la seule réglementaire du pays :

Les terres qui sont transitoires entre les systèmes terrestres et aquatiques, où la nappe phréatique est habituellement à la surface ou près de celle-ci, ou où les terres sont périodiquement recouvertes d'eaux peu profondes et où, dans des circonstances normales, soutiennent, ou supporteront, une végétation adaptée à la vie dans un sol saturé (Ollis et al., 2016).

Selon la politique nationale de l'Ouganda de 1995 sur les zones humides, « *une zone humide est une zone où les plantes et les animaux se sont adaptés aux inondations temporaires ou permanentes par l'eau saline, saumâtre ou douce* ». Autrement dit, les milieux humides comportent les lacs et les rivières, les marécages, les terres saturées (tourbières) et les plaines inondables (Tiner, 2017). En 1982, le Zambie détermine le sens des milieux humides comme « *[une] zone de terre dans laquelle les périodes d'inondation et d'émergence du sol alternent, soit comme des zones inondées en permanence avec une couche d'eau ne dépassant pas plusieurs mètres de profondeur* » (Tiner, 2017).

Ainsi, les milieux humides ont été définies principalement par des scientifiques et des organismes de gestion des ressources naturelles, intéressés par l'importance écologique de ces milieux, en tant qu'habitats pour les oiseaux aquatiques et d'autres animaux. Ils sont avant tout des milieux de transition, entre les milieux terrestres et aquatiques. Ils sont soit riverains de lacs, de cours d'eau, d'estuaires ou de la mer, soit isolés dans des dépressions topographiques mal drainées. La majorité d'entre eux sont d'origine naturelle, alors que d'autres sont le résultat d'aménagements directs ou indirects de l'homme (Ménard *et al.*, 2007).

1.2 Typologie et inventaire des milieux humides

Après avoir défini, le terme de « milieu humide », nous présentons, en ordre chronologique les différents systèmes de classification. Réaliser une typologie des milieux humides est assez compliquée. Ce sont plus de 70 systèmes de classification des milieux humides de différents types, adaptés à des échelles internationale, nationale, régionale, ou locale à travers le monde qui ont été reconnus (Öquist et Stevenson, 1995). Les scientifiques les ont conçus, en tenant compte des conditions écologiques des milieux humides, pour les regrouper en groupes homogènes, afin de réaliser des inventaires, de planifier des bassins hydrographiques, d'évaluer les fonctions, la biodiversité et les conséquences anthropiques mais également pour préciser l'espace et la répartition de ces milieux humides (Tiner, 2017). Il y a deux modèles de système de classification existant : horizontal et hiérarchique :

- le premier divise les habitats en une série de classes ou de types multiples ;
- le deuxième présente une matrice, pour différencier les milieux humides en une multitude de catégories avec différents niveaux de types définis.

Force est de constater que la typologie horizontale est très générale, dans le but de limiter le nombre de types de milieux humides. Au contraire, la typologie hiérarchique est beaucoup plus

descriptive de manière à ce qu'elle soit utile (Tiner, 2017). Les milieux humides sont couramment classés selon les scientifiques, tels que les écologistes, les écologues, les botanistes, les forestiers, les biologistes de la faune, les pédologues, les hydrologues et les spécialistes de l'environnement, en fonction de l'objet central de leurs préoccupations professionnelles soient : la végétation, l'hydrologie, la chimie de l'eau, le sol ou le substrat, la tourbière, le paysage, le relief, les impacts, l'origine du milieu humide et les fonctions (Öquist et Stevenson, 1995). Plusieurs systèmes de classification ont été réalisés dans le but d'inventorier les milieux humides. Les premières tentatives ont eu lieu aux États-Unis.

La classification américaine reste la plus performante (Ménard *et al.*, 2007). En effet, elle est divisée en systèmes, sous-systèmes, classes et sous-classes, ainsi qu'en une série de modificateurs concernant le régime de l'eau, la chimie de l'eau (salinité, pH) et le sol. Elle a pour objectif de répertorier et de cartographier les milieux humides des États-Unis. Son efficacité découle en même temps de l'utilisation de caractéristiques descriptives neutres comme le régime hydrique, la végétation et le sol et de la mise à l'écart de termes vernaculaires confondants comme marais ou marécage (Cowardin et Golet, 1995).

C'est une classification hiérarchique des habitats de milieux humides et aquatiques des États-Unis (Figure 1) dont le premier niveau est organisé en cinq systèmes (marin, estuarien, riverain, lacustre, palustre). Ils forment un ensemble de milieux humides ayant les mêmes caractères géomorphologiques chimiques et biologiques (Tiner, 1999). Ensuite, ils sont subdivisés en huit sous-systèmes en fonction de la position, de la permanence et de la profondeur de l'eau ainsi que de l'influence des marées (Figure 2).

Aux niveaux inférieurs, 11 classes, 28 sous-classes, et de nombreux types de dominance décrivent le milieu humide selon le recouvrement et le type de végétation et de substrat (Ménard *et al.*, 2007). Voilà donc comment sont classés les milieux humides nord-américains, notamment ceux des États-Unis. Cependant, aujourd'hui le seul système international de classification des milieux humides utilisé est celui qui a été réalisé par la Convention de Ramsar (Scott, 1989) dont le but est d'établir un inventaire mondial des milieux humides, afin de diffuser, d'actualiser, régulièrement des informations et de procéder à une surveillance des modifications écologiques sur les sites identifiés pour une cartographie complète et mondiale (Scott et Jones, 1995).

C'est ainsi qu'en 1990, l'ensemble des pays signataires de la Convention de Ramsar a adopté à des fins internationales, à la quatrième session de la Conférence, une classification hiérarchique des types des milieux humides d'après la classification des milieux humides et des habitats en eau profonde des États-Unis de Cowardin *et al.* en 1979 (Finlayson et Van der Valk, 1995). Il est divisé en système, sous-système et classes. Nous distinguons cinq types de systèmes (Figure 1) :

Le système marin ; le système estuarien ; le système riverain ; le système lacustre ; le système palustre.

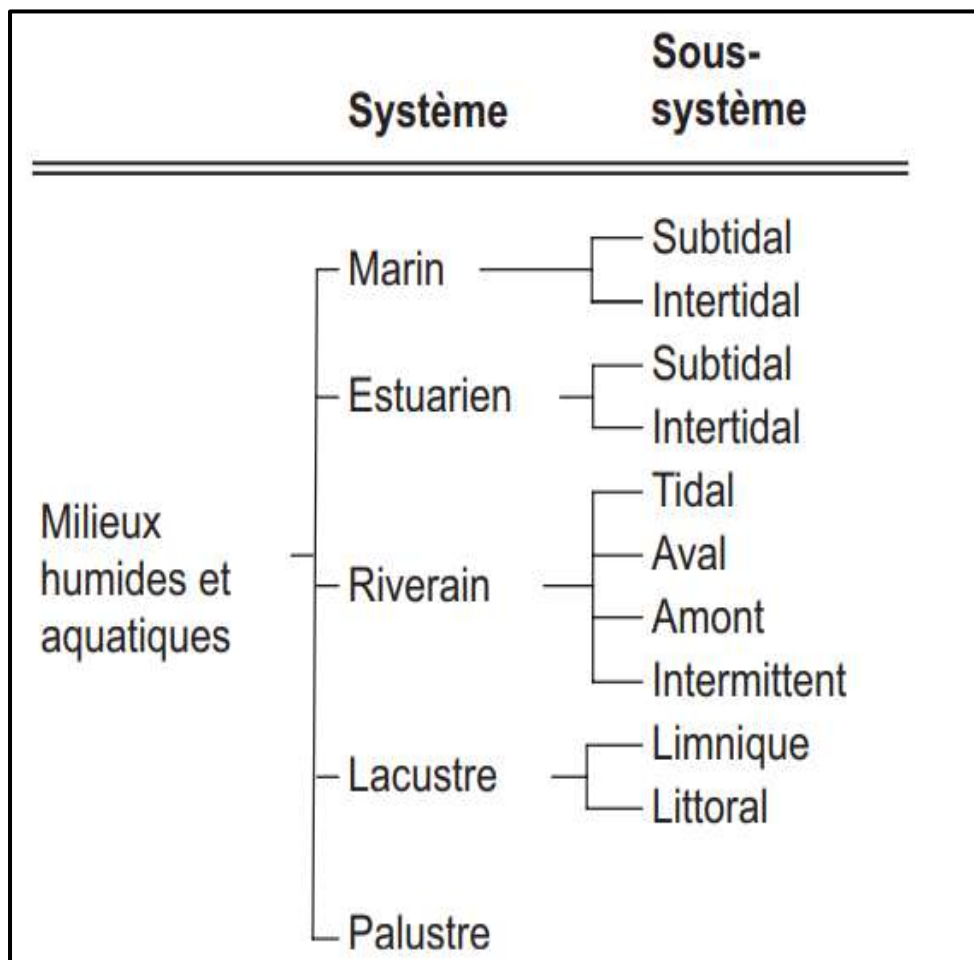


Figure 1 : Deux premiers niveaux hiérarchiques de la classification des habitats de milieux humides et aquatiques des États-Unis (Ménard *et al.*, 2007, p.86)

Le système palustre ne comprend pas les habitats en eau profonde. Dans le cadre de notre étude, la typologie des milieux humides de Cowardin *et al.* (1979), adoptée par la convention de Ramsar, par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) et le programme Corine-biotope, classe **les mares** dans le système des palustres. Jean Servan en 1980 a établi une typologie (Figure 2) de l'ensemble des milieux naturels, en distinguant les espaces humides d'eau douce stagnante (Sajajoli, 1996).

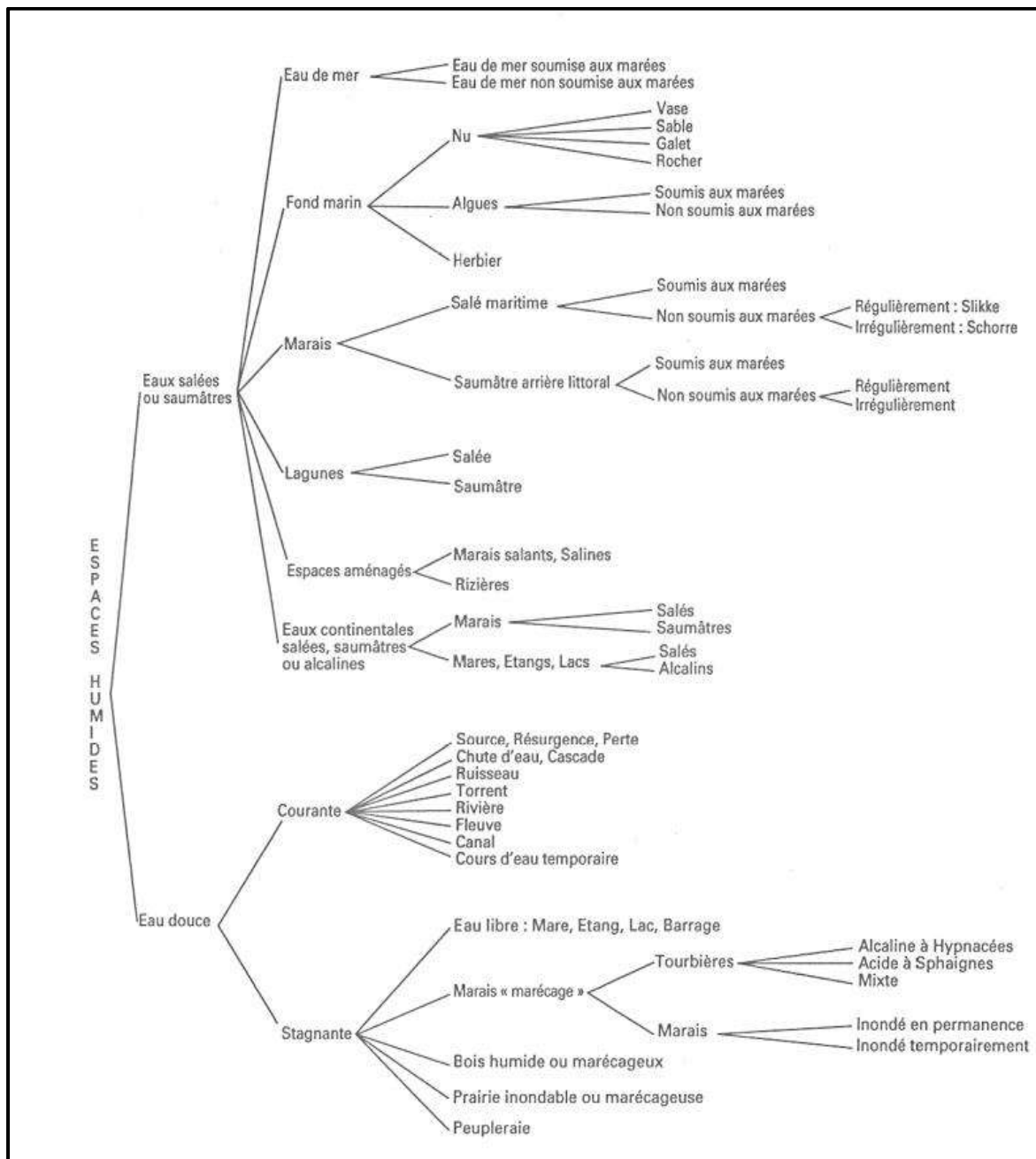


Figure 2 : Typologie des milieux humides (Sajaloli, 1996, p.142)

De cette nouvelle typologie, des chercheurs ont proposé une simplification du groupement de type de milieux humides, qui doit servir de base d'information générale. Cette classification se compose majoritairement d'un répertoire de types de milieux humides, regroupés dans trois catégories : les milieux humides marines/côtières, continentales et « artificielles ». Ces catégories comptent respectivement 12, 20 et 10 types de milieux humides (Scott et Jones, 1995). La typologie Ramsar est certes un terrain d'entente, mais elle demeure la classification la plus facile à réaliser et à comprendre.

| SYSTÈME | SOUS-SYSTÈME | CLASSE |
|-----------|--------------|--|
| Marin | Subtidal | Fond Rocheux Fond Non-consolidé Secteur Aquatique Récif |
| | Intertidal | Secteur Aquatique Récif Rivage Rocheux Rivage Non-consolidé |
| Lagunaire | Subtidal | Fond Rocheux Fond Non-consolidé Secteur Aquatique Récif |
| | Intertidal | Secteur Aquatique Récif Lit de Cours d'Eau Rivage Rocheux Rivage Non-consolidé Zone Humide à Emergentes Zone Humide Arbustive Zone Humide Forestière |
| Fluvial | Estuarien | Fond Rocheux Fond Non-consolidé Secteur Aquatique Rivage Rocheux Rivage Non-consolidé Zone Humide à Emergentes (Non persistantes) |
| | Aval | Fond Rocheux Fond Non-consolidé Secteur Aquatique Rivage Rocheux Rivage Non-consolidé Zone Humide à Emergentes (Non persistantes) |
| | Amont | Fond Rocheux Fond Non-consolidé Secteur Aquatique Rivage Rocheux Rivage Non-consolidé |
| | Intermittent | Lit de Cours d'Eau |
| Lacustre | Limnétique | Fond Rocheux Fond Non-consolidé Secteur Aquatique |
| | Littoral | Fond Rocheux Fond Non-consolidé Secteur Aquatique Rivage Rocheux Rivage Non-consolidé Zone Humide à Emergentes (Non persistantes) |
| Palustre | | Fond Rocheux Fond Non-consolidé Secteur Aquatique Rivage Non-consolidé Zone Humide à Mousses et Lichens Zone Humide à Emergentes Zone Humide Arbustive Zone Humide Forestière |

Figure 3 : Typologie des milieux retenue par la convention de Ramsar, l'UICN et le programme Corine-biotope (Sajaloli, 1996, p.141)

D'autres tentatives de projets de classifications nationales, régionales ou locales ont été effectuées (Scott et Jones, 1995 ; Gayot et Laval, 2006). C'est le cas de l'Europe ; du Canada ; de l'Amérique du Sud ; de l'Australie et de l'Afrique (Finlayson et Van der Valk, 1995) et de la Martinique (Gayot et Laval, 2006). Par exemple, le système de classification officiel des terres humides du Canada a été conçu afin d'être pratique. Il a été élaboré par le Groupe de travail national sur les terres humides (GTNTH) en 1997. Il comprend cinq classes et soixante-dix types de milieux humides. C'est un système hiérarchique sur trois niveaux (classe, forme et type), mais les classes sont très différentes (Tiner, 2017). La classe (bog, fen, marais, marécage,

eau peu profonde) reflète l'origine génétique l'écosystème. La forme distingue les différences de la morphologie, du modelé et du type d'eau. Le type du milieu humide est basé sur la physionomie de la végétation (Ménard *et al.*, 2007). Il comprend cinq classes et soixante-dix types de milieux humides (Figure 4).

La typologie internationale de RAMSAR présentant des classes générales ne permet pas de prendre en compte les spécificités insulaires des milieux humides. Une typologie est proposée pour notre espace insulaire, afin de pallier à l'absence d'une classification de la Martinique (Tableau 1).

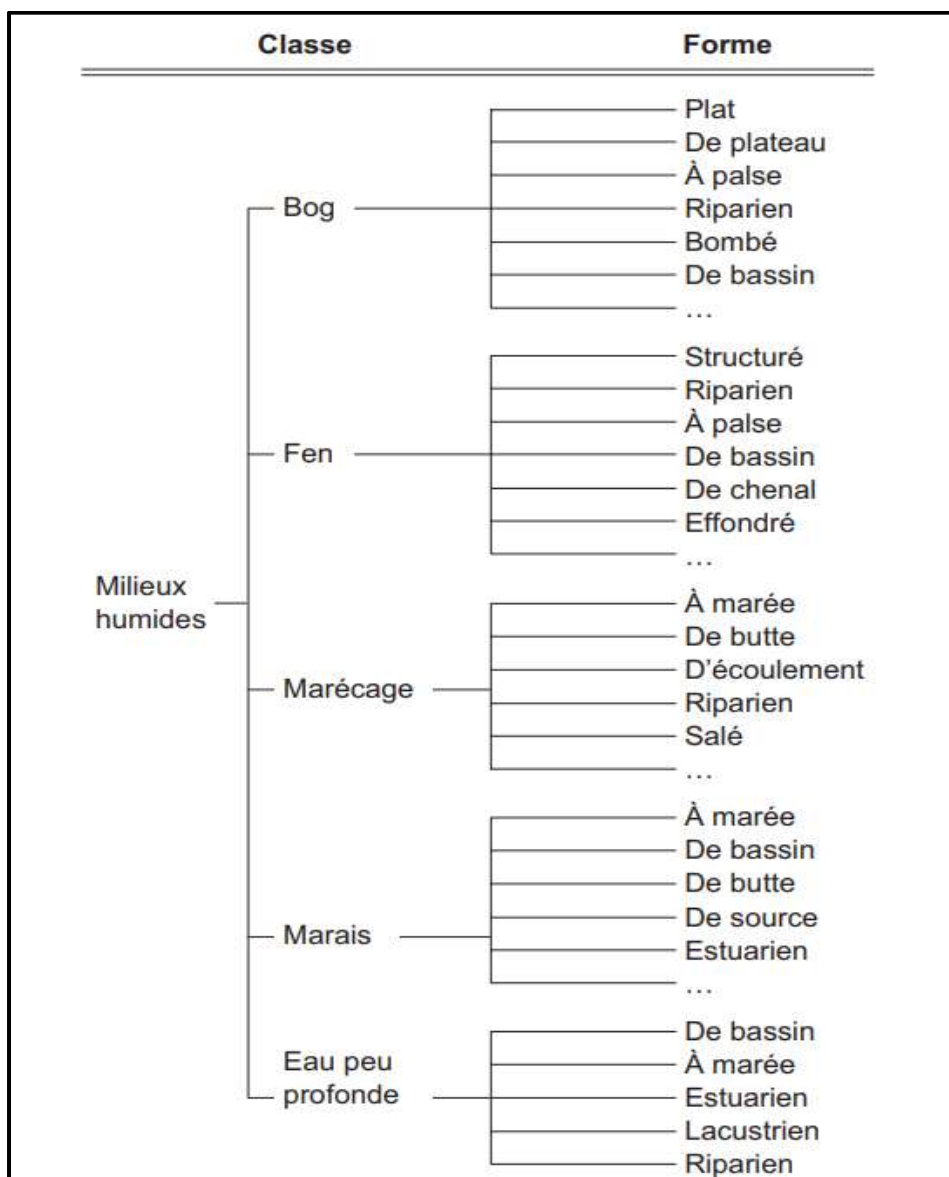


Figure 4 : Les deux premiers niveaux hiérarchiques du système de classification des terres humides du Canada (Ménard *et al.*, 2007, p.88)

Tableau 1: Typologie des milieux humides de la Martinique (Gayot et Laval, 2006, p.12)

| Type général | Sous-type | Code | Intitulé | Définition |
|--------------------------------------|---|--|---|--|
| 1. ZONES HUMIDES SALEES OU SAUMATRES | 1.1. avec étendue d'eau salée intérieure permanente | 1.1.1 | Lagunes et milieux connexes (boisés ou non) | lagunes, artificielles ou non, et milieux humides connexes appartenant au même ensemble fonctionnel (forêts inondables, etc.). |
| | | 1.1.2 | Etangs et mares saumâtres ou salés | étangs et mares inondés toute l'année et dont le fonctionnement hydrologique est indépendant des zones dans lesquelles ils s'intègrent, ce qui les distingue des étendues d'eau inondées en permanence au sein de marais (et parfois appelées localement « étangs »), lesquelles ont un fonctionnement lié à l'ensemble du marais. |
| | 1.2. non forestières | 1.2.1 | Marais et prairies herbacées saumâtres ou salés | formations ouvertes colonisées par une végétation herbacée plus ou moins halophile, inondables ou saturées (temporairement ou non). |
| | | 1.3.1 | Mangroves sur sédiments argileux et milieux ouverts connexes | massifs sur sols argileux, incluant ou bordés par des zones ouvertes de plus 5 ares (étangs bois-sec, miroirs de chasse), qui leur sont associées par leur fonctionnement hydrologique. |
| | 1.3. forestières sur sédiments argileux | 1.3.2 | Mangroves sur sédiments argileux | massifs sur sols argileux, sans zone ouverte associée de superficie significative. |
| | | 1.4.1 | Mangroves sur sédiments argilo-sableux et milieux ouverts connexes | massifs sur sols argilo-sableux, incluant ou bordés par des zones ouvertes de plus 5 ares (étangs bois-sec, miroirs de chasse), qui leur sont associées par leur fonctionnement hydrologique. |
| | 1.4. forestières sur sédiments argilo-sableux | 1.4.2 | Mangroves sur sédiments argilo-sableux | massifs sur sols argilo-sableux, sans zone ouverte associée de superficie significative. |
| | | 2.1. forestières | 2.1.1 | Forêts marécageuses d'eau douce |
| 2.1.2 | Forêts inondables d'eau douce | | zones forestières inondables ou saturées d'eau douce (temporairement ou non) caractérisées par une saturation temporaire mais récurrente et une inondation inférieure à 6 mois. | |
| 2.2.1 | Zones inondables ouvertes ou saturées (eau douce stagnante) | | zones temporairement saturées ou/et inondées, où l'eau ne stagne pas. | |
| 2.2.2 | Zones de marais et mares temporaires (eau douce stagnante) | | zones temporairement saturées ou/et inondées, comprenant en leur sein une zone en permanence saturée ou inondée où l'eau peut stagner. | |
| 2.2. ouvertes | 2.2.3 | Zones ouvertes inondables ou saturées d'altitude | zones inondables ou saturées d'eau douce (temporairement ou non), localisées en altitude (environ plus de 1000 m). | |
| | 3.1. connectés à des cours d'eau | 3.1.1 | Grands Etangs (>50 ares) | zones en permanence submergées d'eau douce stagnante de superficie supérieure à 50 ares, connectées à des cours d'eau. |
| | | 3.1.2 | Etangs (de 10 à 50 ares) | zones en permanence submergées d'eau douce stagnante de superficie comprise en 10 et 50 ares, connectées à des cours d'eau. |
| 3.1.3 | | Mares (<10 ares) | zones en permanence submergées d'eau douce stagnante de superficie inférieure à 10 ares, connectées à des cours d'eau. | |
| 3.2. non connectés à un cours d'eau | 3.2.1 | Mares | zones en permanence submergées d'eau douce stagnante, non connectées à des cours d'eau. Superficie proche ou inférieure à 10 a. | |
| | 4.1. stations d'épuration | 4.1.1 | Bassins d'épuration en activité | bassins d'épuration d'eau douce actuellement exploités. |
| 4.1.2 | | Bassins d'épuration hors activité | bassins d'épuration d'eau douce actuellement inexploités. | |
| 4.2. bassins aquacoles | 4.2.1 | Bassins aquacoles en activité | bassins aquacoles d'eau douce actuellement exploités. | |
| | 4.2.2 | Bassins aquacoles hors activité | bassins aquacoles d'eau douce actuellement inexploités. | |

1.3 Méthode des inventaires des milieux humides

Pour élaborer la typologie des milieux humides, il a été nécessaire de prendre en compte leurs caractéristiques propres pour les classer (Tableau 2). Ces caractéristiques relèvent en majorité des domaines de la botanique, de l'écologie, de la forêt, de la pédologie et de l'hydrologie. (Tiner, 2017). Ainsi, les premiers inventaires ont été réalisés grâce à la classification de ces écosystèmes aquatiques.

De plus, la littérature scientifique renferme plusieurs concepts pour désigner et décrire les différents types de milieux humides. En outre, ces inventaires sont importants pour la conservation et la gestion de ces milieux humides au niveau local, national, régional et international (Finlayson et Van der Valk, 1995). De surcroît, ils ont été reconnus par la Convention de Ramsar, afin d'atteindre les objectifs indiqués ci-dessus (Davidson *et al.*, 2018). Un certain nombre d'inventaires internationaux des milieux humides ont été réalisés, mais restent incomplets (Figure 5).

En revanche, ils sont considérés comme préliminaires. Des techniques plus performantes sont essentielles, afin d'élargir les bases de données disponibles et de rendre les inventaires plus utiles pour la gestion et la conservation des milieux humides (Finlayson et Van der Valk, 1995).

Toutefois, la localisation et la cartographie de ces écosystèmes « complexe et polymorphe » sont un atout primordial pour les inventaires et le suivi (Gramond *et al.*, 2005). Ces inventaires doivent se fonder sur une approche méthodologique « irréprochable ». Plusieurs méthodes théoriques complétées par une approche de terrain ont été employées. Les équipes de recherches ont eu recours à des outils cartographiques : cartes topographiques ; cartes écoforestières ; images satellitales ; photographies aériennes ; télédétection (Ménard *et al.*, 2007 ; Gramond *et al.*, 2005).

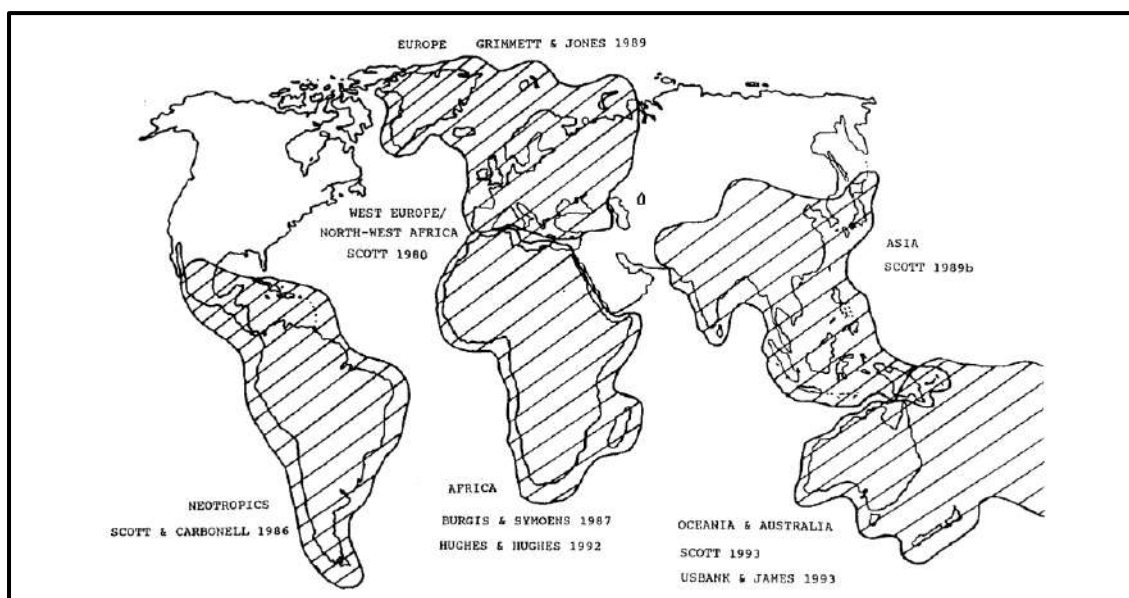


Figure 5 : Zones du monde couvertes par des inventaires internationaux de milieux humides terminés (Finlayson et Van der Valk, 1995, p.189)

Tableau 2 : Caractéristiques utilisées pour classer les milieux humides (Tiner, 2017, p.442)

| Caractéristiques | Traits distinctifs |
|------------------|-----------------------------------|
| Végétation | Présence ou absence de végétation |
| | Plantes ligneuses ; herbacées |
| | Type de feuilles |
| | Persistance des feuilles |
| | Structure |
| | Physionomie des plantes |

| | |
|-----------------------------|--|
| | Espèces dominantes dans la communauté |
| Hydrologie | Inondation par la marée ou non |
| | Fréquence et durée de l'humidité |
| | Profondeur de l'inondation |
| | Écoulement directionnel de l'eau |
| | Interaction avec les eaux souterraines |
| | Catégorie de drainage du sol |
| | Source d'eau |
| Chimie de l'eau | Origine de l'eau |
| | Statut nutritionnel (pauvre à riche) |
| Sol ou substrat | Substrat |
| | Quantité de matière organique |
| | Quantité de tourbe |
| | Quantité de décomposition des matières organiques |
| | Autres caractéristiques du sol |
| Tourbière | Présence d'une série de bassins d'eau libre et de crêtes |
| Position du paysage | Association ou non avec un plan d'eau |
| Forme de terrain | Forme physique de la zone humide |
| Impacts | Cause humaine ou naturelle |
| Origine des milieux humides | Naturelles ou artificielles |
| Fonction | Significatif pour une fonction particulière |

Pour terminer, Les zones humides sont des milieux dynamiques qui peuvent être délimités et cartographiés, selon des seuils de précision étroitement dépendants de leur nature (roselières, étangs, etc.), de leur taille et de leur localisation au sein du bassin d'alimentation (dépressions topographiques, annexes fluviales, etc.).

Ainsi, pour réaliser un inventaire des zones humides à une échelle régionale, il est nécessaire de mettre en œuvre une approche hybride combinant une analyse « du dessus » à l'échelle d'un bassin hydrographique (images satellites et photographies aériennes), et une analyse « du dedans » à l'échelle d'un bassin d'alimentation (enquêtes de terrain).

1.4 Distribution spatiale des milieux humides

1.4.1 Répartition géographique à l'échelle mondiale

Les milieux humides se situent sur tous les continents et sur tous les climats (Figure 6), sauf en Antarctique (Mitsch et Wu, 1995 ; Mitsch et Gosselink, 1993). Cependant, il est difficile d'estimer leur superficie totale à cause de la définition de cet écosystème aquatique. Selon les premières estimations, la superficie est estimée entre 7 et 10 millions km². Ils couvrent 5 à 8 % de la surface terrestre de la Terre. Sur la base des travaux des géographes russes, en 1983, les chercheurs Maltby et Turner ont estimé la superficie à 8,6 millions de km² soit 6 % de la surface continentale (Maltby, 1988). En 1987, Matthews et Fung ont évalué 5,3 millions de km², en utilisant une base de données altimétrique de 1 degré de résolution des milieux humides dans le monde.

Et en 1989, Aselmann *and* Crutzen ont chiffré 5,57 km² (Mitsch et Gosselink, 2015 ; Öquist et Stevenson, 1995). Des chiffres plus récents estiment la superficie mondiale des zones humides entre 12,76 et 12,79 millions de km² (Tableau 3), bien au-delà des estimations données ci-dessus (Fraser et Keddy, 2005).

Tableau 3 : Superficie des milieux humides par grandes régions (Fraser et Keddy, 2005, p.449)

| Régions | Superficie (million de km ²) |
|--------------------|--|
| Afrique | 1.213 22-1.246 86 |
| Asie | 2.042 45 |
| Europe de l'Est | 2.292 17 |
| Néotropiques | 4.149 17 |
| Amérique du Nord | 2.415 74 |
| Océanie | 0.357 5 |
| Europe occidentale | 0.288 22 |
| Total | 12.792 11 |

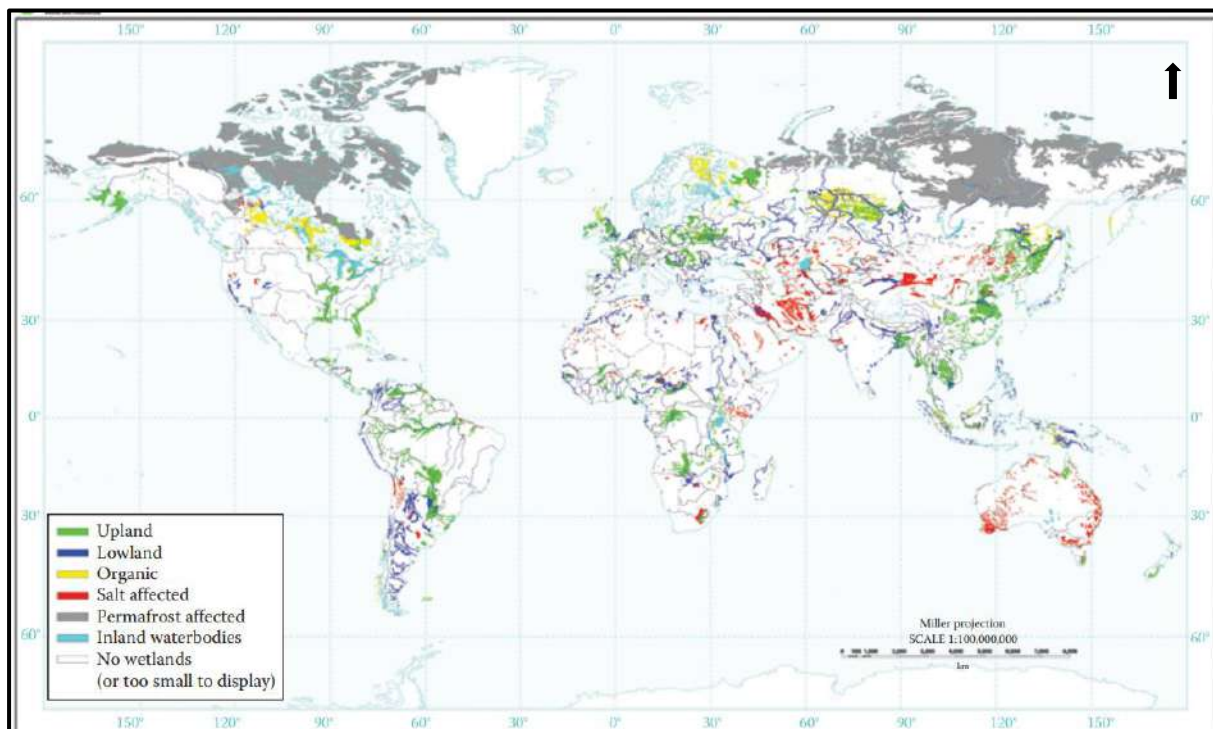
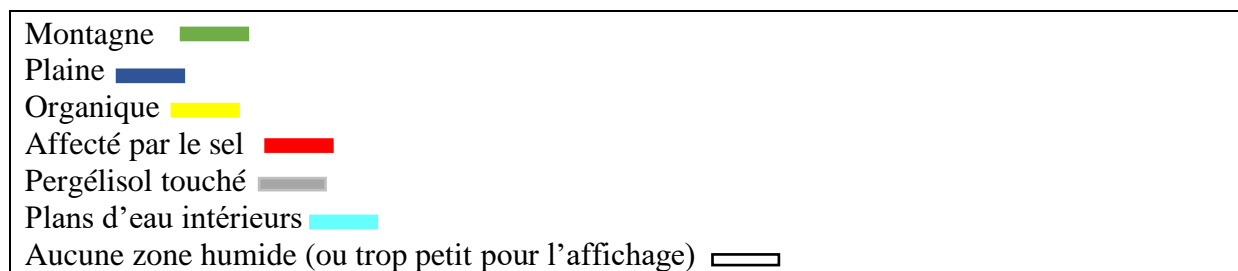


Figure 6 : Répartition géographique des principaux milieux humides dans le monde (Tiner, 2017, p.64)

Légende carte 2 ci-dessus :



La plus récente estimation, à haute résolution, de la superficie mondiale des milieux humides dépasse 12,1 106 km², dont 54 % sont inondés de façon permanente et 46 % sont inondés temporairement (Tableau 3). À l'échelle mondiale, 92,8 % des milieux humides sont intérieures et seulement 7,2 % sont côtières. À l'échelle régionale, les plus grands milieux humides se situent en Asie (31,8 %), en Amérique du Nord (27,1 %) et de l'Amérique latine et dans les Caraïbes (néo-tropiques : 15,8 %), avec des zones plus petites en Europe (12,5 %), en Afrique (9,9 %) et de l'Océanie (2,9 %) (Figure 6). Il est envisageable que les valeurs d'aujourd'hui de la superficie mondiale des milieux humides parus aujourd'hui ont pu être sous-évalués. D'où la nécessité de réaliser un inventaire mondial intégrant tous les types de milieux humides, permanents et temporaires, à haute résolution spatiale (Davidson *et al.*, 2018 ; Fluet-Chouinard *et al.*, 2015).

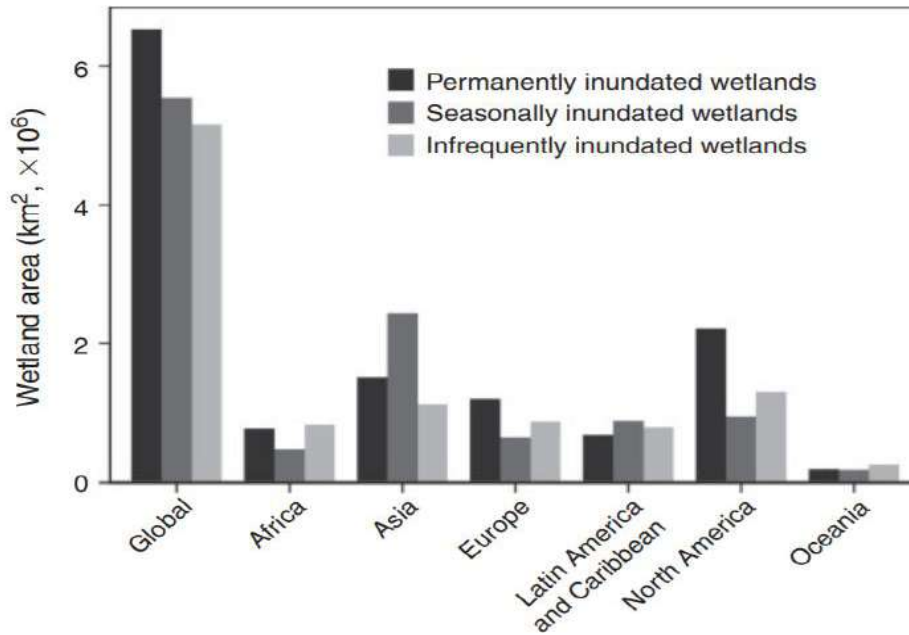


Figure 7 : Milieux humides mondiales et régionales avec des régimes différents d'inondation (Fluet-Chouinard *et al.*, 2015)

Légende (Figure 7 ci-dessus) :

- Milieux humides inondés
- Milieux humides inondés saisonnièrement
- Milieux humides peu inondés

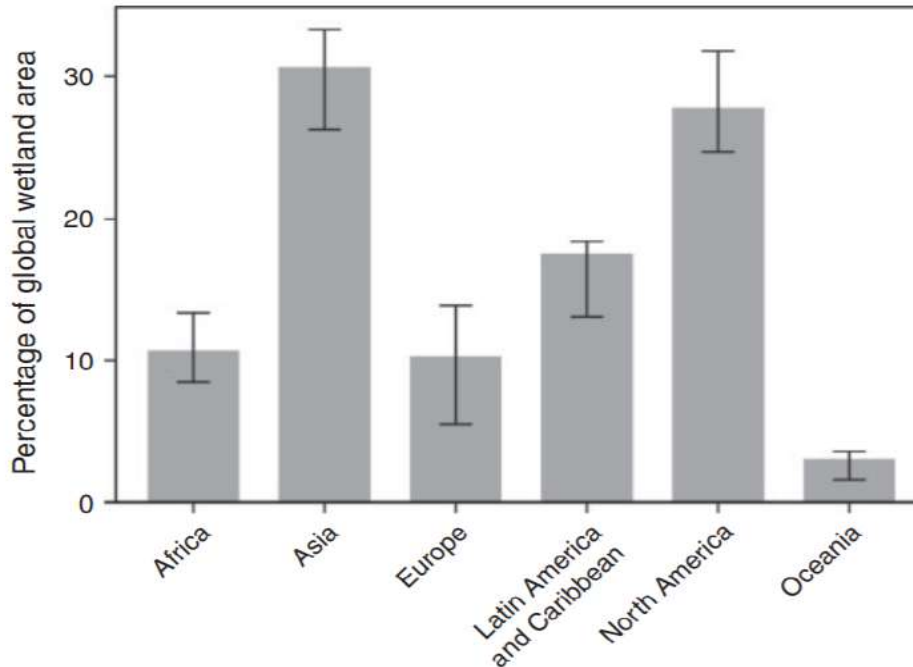


Figure 8 : Pourcentage de la superficie mondiale des zones humides par région (Fluet-Chouinard *et al.*, 2015)

1.4.2 Répartition géographique potentielle des milieux humides

Selon des études récentes, la superficie des milieux humides serait estimée à environ de 29.83 millions de km², sans l'intervention de l'homme (Hu *et al.*, 2017). Ces chercheurs ont observé en 2009 qu'au moins 33 % avaient été perdus.

Ils rajoutent 4,58 millions de km² de milieux humides non aquatiques, et 2,64 millions de km² d'eau libre (Figure 9). Ces chiffres ont été calculés, en réunissant toutes les données sur les milieux humides mondiales.

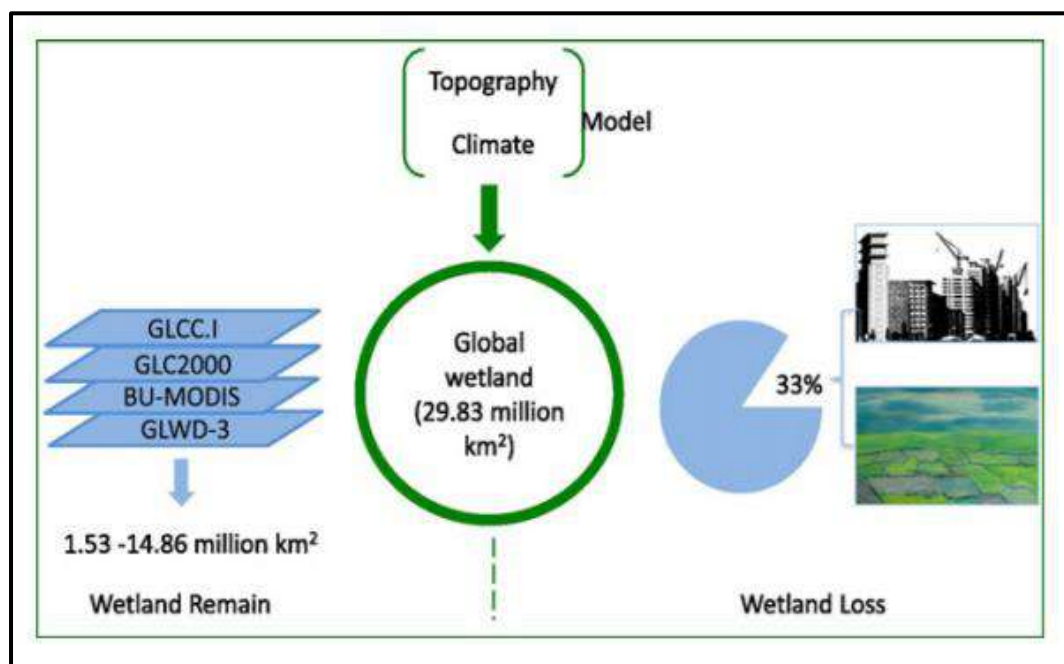


Figure 9 : Schéma de l'estimation de la superficie potentielle des milieux humides dans le monde en 2009 (Hu *et al.*, 2017)

Ils ont réalisé une carte de répartition potentielle des milieux humides (Figure 10), avec une résolution spatiale de 1 km, sauf les inlandsis de l'Antarctique et du Groenland, en ayant recours à un nouvel indice topographique d'humidité des précipitations (PTWI). Cette carte représente uniquement les milieux humides intérieurs et côtiers.

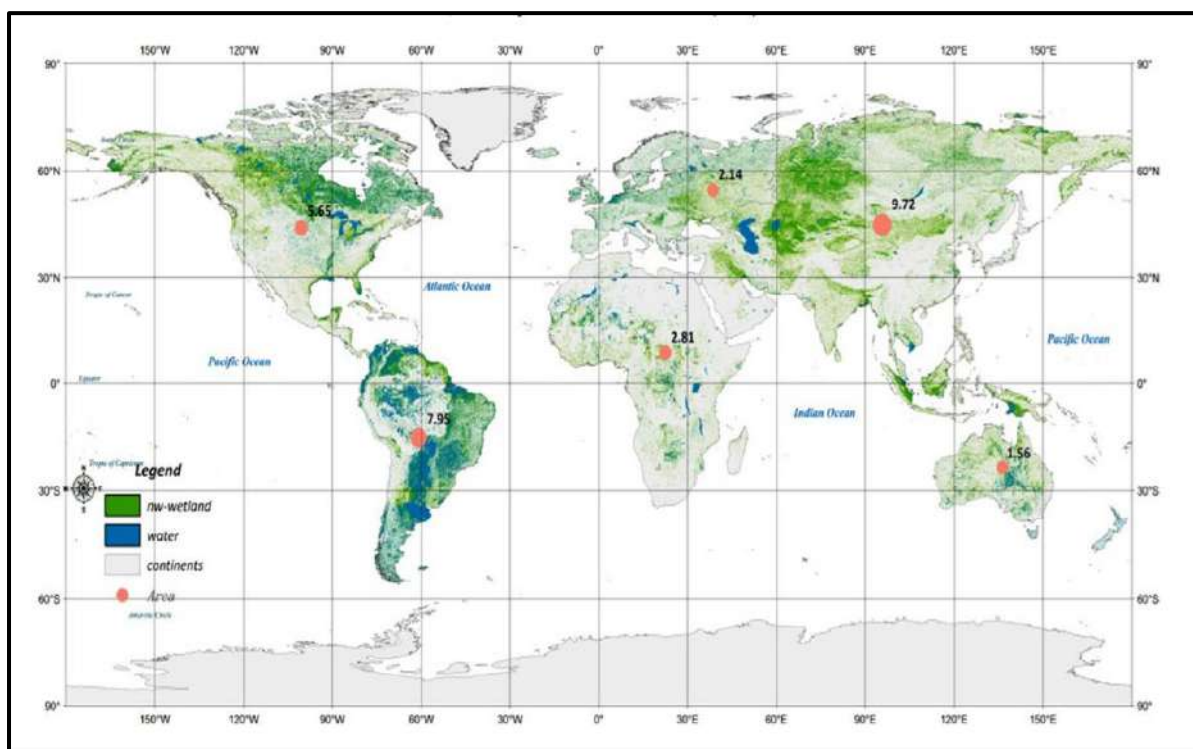


Figure 10 : Répartition des milieux humides potentielles mondiales (Hu *et al.*, 2017)

D'après cette carte (Figure 10), la superficie totale des milieux humides s'estimait à 29.83 millions de km² plus l'eau de 11.41 millions de km² et un milieu humide de 18.42 km². Nous observons que les trois continents l'Asie (9.72 km²), l'Amérique du Sud (7.95 km²) et l'Amérique du Nord (5.65 km²) ont une superficie totale égale à 78 % de la superficie mondiale (Hu *et al.*, 2017).

1.4.3 Répartition géomorphologique

Les milieux humides se répartissent dans un paysage particulier. Ils se forment dans des dépressions, sur un terrain relativement plat le long des écosystèmes aquatiques et dans les zones où les eaux souterraines se déversent à la surface (Figure 11). C'est le phénomène de résurgence ou exurgence. En effet, la répartition et le nombre de milieux humides varient à l'échelle mondiale, principalement en fonction du climat, de la topographie et de la proximité d'une source d'eau (Tiner, 2017).

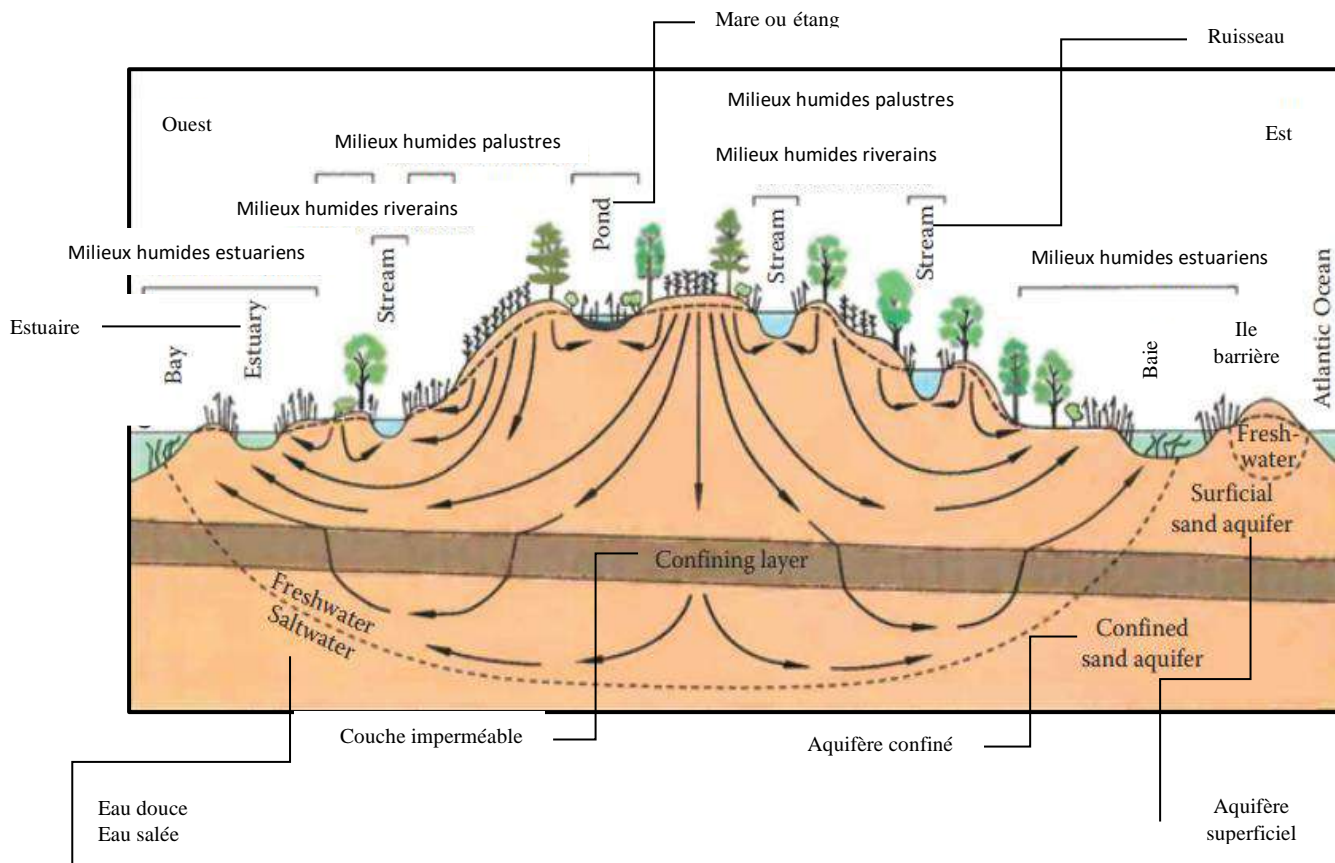

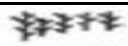









Figure 11 : Schéma de la formation des milieux humides, l'exemple de la région médio-atlantique des Etats-Unis (Tiner, 2017, p.67)

Légende

| | | | |
|---|---|---|--------------------------------|
|  | Direction de l'écoulement des eaux souterraines Souterraine |  | Cultures agricoles |
|  | Nappe phréatique moyenne |  | Végétation aquatique submergée |
|  | Végétation arbustive |  | Dépôts organiques |
|  | Végétation forestière |  | Régolithe |
|  | Végétation émergée | | |

Ils se situent dans les plaines inondables, les fonds des vallées et les collines. Nous les retrouvons aussi sur des versants, des zones de ruptures de pentes, sur le littoral maritime et en bordure d'estuaires (Moore, 2006 ; Tiner, 2017). La majorité des milieux humides sont alimentés par le débit de l'eau d'un bassin versant (Figure 12). En effet, les milieux humides se situent généralement aux points bas d'un bassin versant, aux abords des cours d'eau, des plans d'eau ou sur le littoral. Ils peuvent aussi se trouver plus haut sur les versants à l'occasion d'une dépression topographique, d'une source. Ils sont appelés les milieux humides rhéotrophes (Moore, 2006).

Les milieux humides alimentés uniquement par les précipitations, sont appelés milieux humides ombrotrophes (Moore, 2006). La Figure 12 montre une partie de la diversité des milieux humides dans un bassin versant.

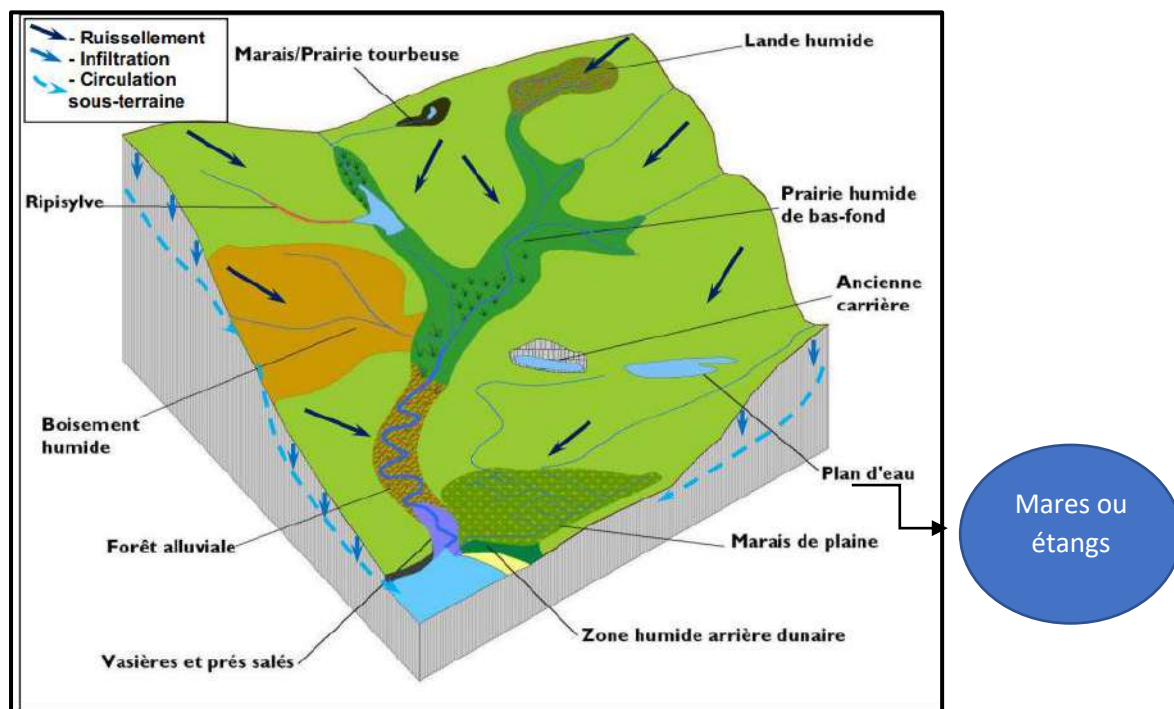


Figure 12 : Schéma de localisation des milieux humides sur un bassin versant

(Source : https://www.agglo-laval.fr/fileadmin/user_upload/Nuille_inventaire_ZH.pdf, Consulté le 27/06/2022)

1.4.4 Répartition selon les domaines climatiques

Le climat joue un rôle important dans la formation des milieux humides. En effet, le climat humide se caractérise par de fortes pluies saisonnières. Les climats chauds et humides, les forêts pluviales, les saisons humides et sèches marquent certaines régions tropicales. C'est pourquoi, certains espaces de la zone équatoriale, de l'Amérique du Sud (bassin amazonien), de l'Afrique centrale (bassin du fleuve du Congo) et de l'Asie du Sud-Est (par exemple, Thaïlande et Vietnam), se distinguent par de très fortes précipitations à l'année ou pendant la saison humide (Figure 13). Par ailleurs, le climat très froid de l'Arctique et de la région subarctique forme des sous-sols gelés en permanence que l'on appelle pergélisol ou permafrost. Il fournit une source d'eau pendant le dégel estival qui est à l'origine de la formation de grands milieux humides en dépit de faibles pluies (Tiner, 2017).

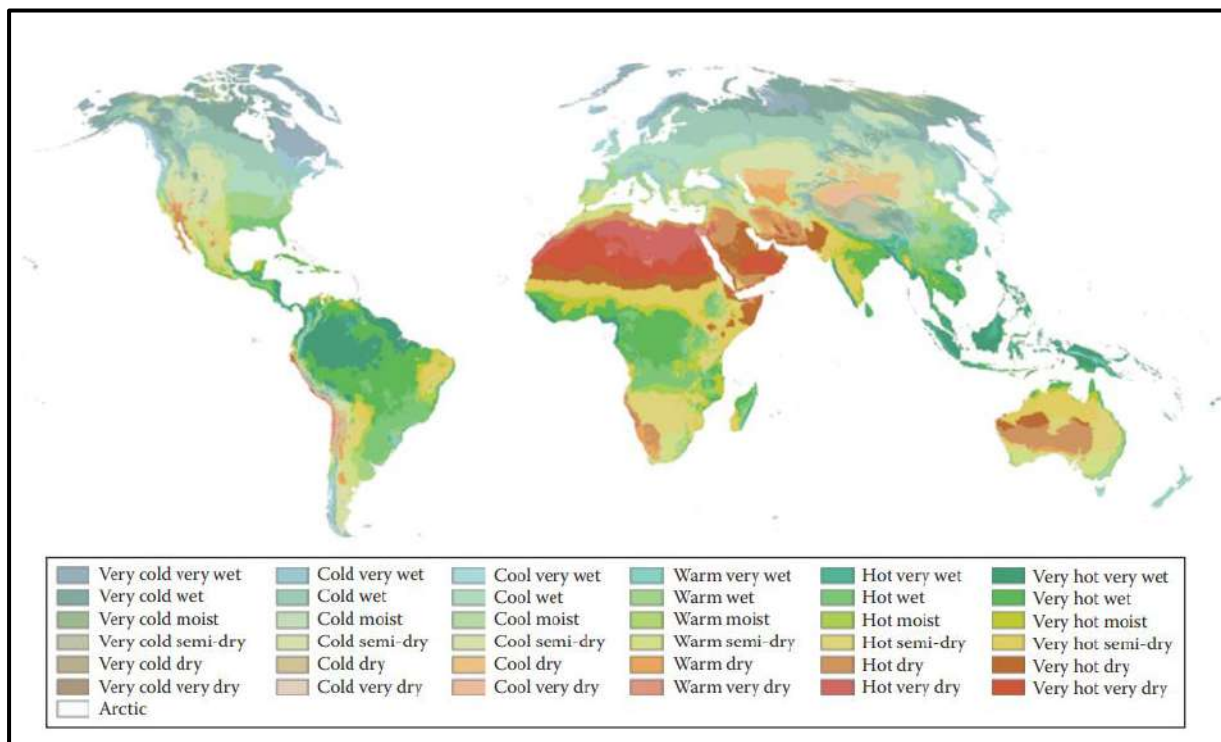


Figure 13 : Répartition géographique des bioclimats mondiaux basée sur la température et les pluies (Tiner, 2017, p.64)

Les conditions de pergélisol conduisent au développement de grands milieux humides, malgré une pluie annuelle inférieure à 600 mm (Perica *et al.*, 2012). Les milieux humides se forment partout où il existe une source fiable de pluies ou d'eau de drainage (Moore, 2006). En revanche, les autres biomes – forêt tropicale pluviale, savane, désert, forêt tempérée ou toundra étant limités à des zones climatiques différentes, les milieux humides fonctionnent autrement. Les zones côtières ont une alimentation en eau permanente, tandis que les milieux humides sont nombreux où les précipitations sont abondantes (Moore, 2006). La figure 13 montre que la majorité des milieux humides se localisent dans les deux principales zones climatiques : la zone chaude et la zone tempérée froide de l'Asie du Nord, de l'Europe et de l'Amérique du Nord. Ces deux zones se caractérisent par de fortes pluies, et par des températures moyennes des pays nordiques. Autrement dit, les taux d'évaporation et de transpiration sont plus faibles et par conséquent les sols sont saturés en eau (Moore, 2006). Pour résumer, les bioclimats très humides comportent plus de milieux humides végétalisées que les autres régions. Les milieux humides temporaires seraient plus fréquents dans les régions sèches (Figure 13).

1.4.5 Pertes mondiales des milieux humides

Toutefois, nous estimons qu'au XX^e siècle, plus de la moitié des milieux humides ont disparu. Cependant, il est difficile de le déterminer, mais grâce aux nouvelles technologies associées aux images satellitaires, on observe un peu plus de visibilité (Tiner, 2017). Le tableau 4 nous

renseigne sur le taux de perte des milieux humides dans certaines parties du monde. Les différentes définitions du terme « milieu humide » ont suscité cependant quelques difficultés, à inventorier l'étendue des milieux humides malgré, des efforts importants accordés à leur cartographie dans certaines parties du monde (Finlayson *et al.*, 2018). Cependant, de nombreuses données ont été collectées, afin de compléter des inventaires au niveau international et national. Néanmoins, il existe encore de grandes différences pour aboutir à une couverture intégrale de la répartition géographique des milieux humides (Mitsch, 1994 ; Finlayson et Van der Valk, 1995 ; Finlayson *et al.*, 1999). Nombre de pays n'ont pas encore terminé leurs inventaires (Finlayson, 2012). Les milieux humides étant définies de plusieurs façons en se basant sur pas mal d'éléments : la végétation, la qualité de l'eau, l'hydropériode, les sols, le relief et également la faune (Finlayson *et al.*, 2018). De nombreux chercheurs ont constaté quelques carences dans les inventaires et la connaissance des milieux humides. Des guides spécifiques, pour inventorier correctement ces milieux humides permettraient d'affiner l'inventaire de ces milieux humides (Mitsch et Gosselink, 2015).

Tableau 4 : Pertes en pourcentage des milieux humides dans certaines zones du monde (Mitsch et Gosselink, 2015, p.50)

| Pays | Pourcentage de perte % |
|--|-------------------------------|
| États-Unis (48 États) | 53 |
| Canada | |
| Groupe des marais marins et marécageux de l'Atlantique | 65 |
| Bas-Grands Lacs–Fleuve Saint-Laurent | 71 |
| Cuvettes et marécages des Prairies | 71 |
| Zones humides estuariennes côtières du Pacifique | 80 |
| Australie | >50 |
| Plaine côtière de Swan | 75 |
| Côte de la Nouvelle-Galles du Sud | 75 |
| Victoria | 33 |
| Bassin de la rivière Murray | 35 |
| Nouvelle Zélande | >90 |
| Philippines (mangroves) | 67 |
| Chine | 60 |
| Terres humides côtières (1950-2010) | 57 |
| Mangroves (1950-2010) | 73 |
| Toute la Chine (1978-2008) | 33 |

| | |
|------------------------------|----|
| Plateau tibétain (1978-1990) | 66 |
| Plateau tibétain (2000-2008) | 6 |
| Europe | |
| Pertes dues à l'agriculture | 60 |
| Perte globale estimée | 80 |

1.5 Caractéristiques hydrogéomorphologiques des milieux humides

1.5.1 Caractéristiques géomorphologiques

La localisation, la position topographique, l'histoire géologique et la forme déterminent les caractéristiques géomorphologiques des milieux humides (Barnaud et Fustec, 2007). En effet, ils se répartissent depuis les sommets montagneux jusqu'aux océans (Barnaud et Fustec, 2007) et se situent sur des versants, des plaines, des pentes douces, dans le fond des vallées, en bordure des lacs, des embouchures et du littoral maritime (Mitsch et Gosselink, 2017). Il est question d'hydrogéomorphologie d'un milieu humide lorsque que le climat, la géomorphologie et l'hydrologie forment une seule unité. Des chercheurs américains ont mis en place une méthode officielle, afin d'identifier les types de milieux humides et d'évaluer leurs fonctions à partir des caractéristiques géomorphologiques et hydrologiques (Tableau 5) sur le territoire des États-Unis (Barnaud et Fustec, 2007). Sur cette base, cinq grandes catégories fonctionnelles ont été élaborées en Europe de l'Ouest (Figure 14) :

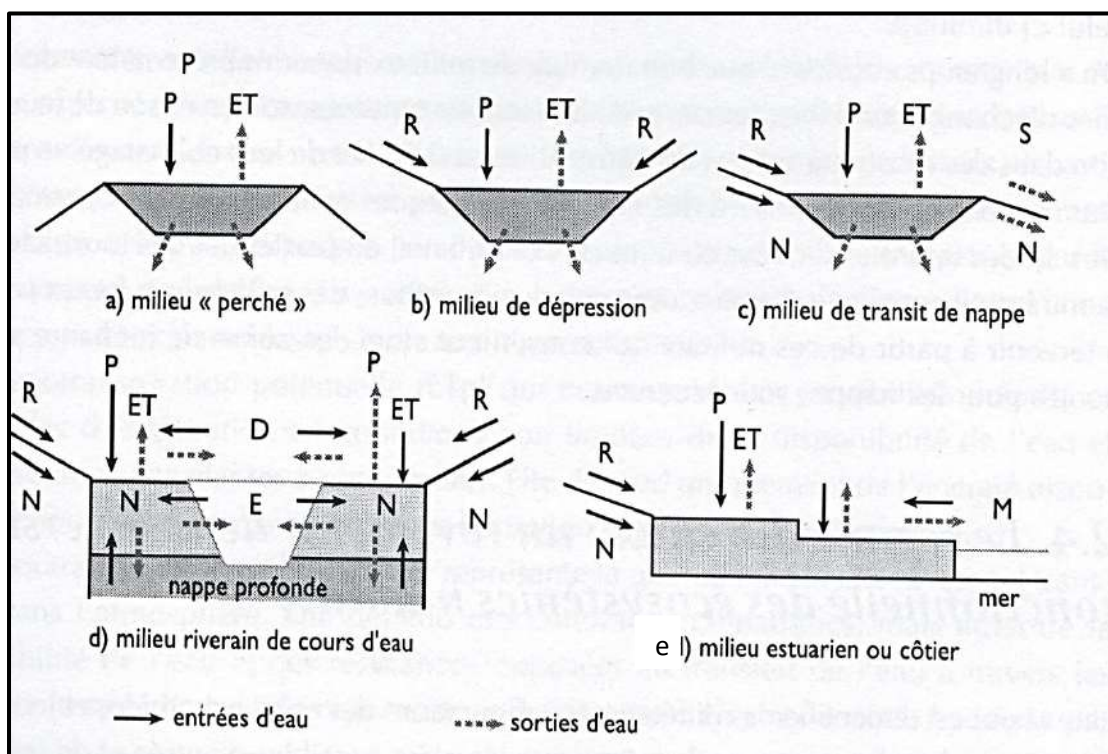


Figure 14 : Caractéristiques hydrogéomorphologiques de divers types de milieux humides (Barnaud et Fustec, 2007, p.22)

P = précipitation ; ET = Evapotranspiration ; R = ruissellement ; N= Nappe ; S = eaux de surface ; D= Débordement de crue ; E = échange nappe/rivière ; M = Flux de marée

Tableau 5 : Caractéristiques hydrogéomorphologiques de différents types de milieux humides (Barnaud et Fustec, 2007, p.23-24)

| Types de milieux humides | Caractéristiques | |
|-----------------------------------|---|---|
| | Géomorphologiques | Hydrologiques |
| Milieux humides planes | Aires géographiques avec une formation de couches d'argile ou matériaux indurés | Précipitations |
| Milieux humides de dépressions | Creux topographiques | Précipitations |
| Milieux d'interception de nappe | Dépression sur des versants, des replats | Eaux de nappes Eaux de ruissellement |
| Milieux riverains des cours d'eau | Corridors fluviaux | Débordement de crue Échanges nappe/rivière |
| Milieux sous influence des marées | À l'amont des estuaires | Flux et reflux d'eau salées |

1.5.2 Caractéristiques hydrologiques

L'hydrologie est l'élément moteur permettant la formation, et le maintien des milieux humides. Elle reste la condition importante. Cependant, plusieurs facteurs dont le climat, la topographie, la géologie de surface, les sols, la végétation et les activités humaines ont une forte influence sur l'abondance de l'eau. De surcroît, la superficie et la quantité des milieux humides dépendent de trois paramètres fondamentaux : le climat, la topographie et de la proximité d'une source d'eau (Tiner, 2017).

En effet, le climat joue un rôle important, car c'est lui qui détermine la disponibilité de l'eau et qui influe sur le développement du sol. Les climats chauds et humides produisent beaucoup de pluies. Les climats très froids produisent des sous-sols gelés en permanence.

C'est le cas du pergélisol qui fournit de l'eau pendant le dégel estival (Tiner, 2017). De plus, les climats maritimes peuvent créer des conditions propices à la formation de grands milieux humides dans des paysages favorables, surtout lorsque les pluies dépassent l'évaporation. Beaucoup de milieux humides se forment à proximité d'une source d'eau, principalement aux altitudes les plus basses, pour être inondés ou saturés à un certain rythme.

Les processus fluviaux conditionnent des milieux humides le long des rivières, et des cours d'eau en apportant des sédiments dans les vallées. Dans les deltas se forment également des milieux humides où les rivières s'écoulent dans un lac ou dans l'océan en déposant des sédiments dans les eaux libres (Tiner, 2017).

Tout bien considéré, un milieu humide se caractérise par une nappe phréatique localisé près ou au-dessus de la surface du sol dans lequel se forme des sols hydromorphes associée à une végétation hygrophile et des activités biologiques complexes. De surcroît, le régime hydrologique des milieux humides est différent, alors qu'ils ont en commun l'abondance de l'eau. De plus, les caractéristiques hydrologiques générales découlent du lien entre la lithologie locale (géologie, sol, topographie, pédologie) et le climat.

Lorsque le climat, la géomorphologie du bassin et l'hydrologie sont considérés comme une seule unité, on parle d'hydrogéomorphologie d'un milieu humide (Mitsch et Gosselink, 2015). Puis, les milieux humides en eau peu profonde se distinguent par une eau stagnante s'écoulant lentement, à une profondeur de moins de deux mètres (Price, 2001). C'est la conséquence d'une inondation de surface ou d'une émergence de la nappe phréatique (National Academy Press, 1995). En somme, les milieux humides sont alimentés par les précipitations, les eaux de surface et les eaux souterraines (Barnaud et Fustec, 2007) et à certains endroits, les eaux de mer (National Academy Press, 1995).

1.6 Les plantes aquatiques des milieux humides

Introduction

Le monde aquatique varie considérablement, mais toutes les plantes aquatiques et les plantes des terres humides ont des facteurs semblables qui régulent leur croissance, soit la disponibilité de la lumière, les éléments nutritifs et la chimie de l'eau, le substrat⁶ et l'énergie éolienne. D'autres facteurs, comme la forme et la profondeur de l'habitat aquatique, contribuent à la physiologie d'une plante.

Les plantes aquatiques participent au maintien des fonctions clés et de la biodiversité connexe, dans les écosystèmes d'eau douce et répondent aux besoins des sociétés humaines. Les niches écologiques des macrophytes sont déterminées par des facteurs abiotiques et biotiques. (Bornette et Puijalón, 2009). Les macrophytes comprennent les bryophytes (mousses, hépatiques et hornworts), les ptéridophytes (fougères et fougères alliés) et les spermatophytes (plantes porteuses de graines), dont les parties photosynthétiquement actives sont immergées en permanence dans l'eau ou qui flottent à la surface de l'eau (Bornette et Puijalón, 2009).

Les macrophytes sont des plantes aquatiques bien visibles qui dominent les milieux humides, les lacs peu profonds et les cours d'eau. Elles poussent dans ou près de l'eau et peuvent être émergentes, submergées ou flottantes (Sim Ng et Chan, 2016).

⁶ Support physique (sol, roche fond marin) d'une population végétale ou animale

1.6.1 Définitions

Les plantes des milieux humides colonisent divers habitats, dans les marécages et marais, tourbières, billabongs, marécages, bords des lacs, ruisseaux, rivières, les estuaires, et rivages océaniques (Cronk et Fenessy, 2001). Le vocabulaire utilisé pour définir les plantes des milieux humides est basé sur le régime hydrologique dont les espèces ont besoin. Le chercheur biologiste Cowardin en 1979 les définit, comme des plantes « *poussant dans l'eau ou sur un substrat qui est au moins périodiquement déficient en oxygène en raison d'une teneur excessive en eau* » (Cronk et Fenessy, 2001).

Ces plantes sont scientifiquement appelées « hydrophytes » (Tiner, 2017). Warming et Raunkiaer ont été parmi les premiers écologistes végétalistes à employer le terme « hydrophyte ». Sa définition a progressé. En effet, dans les années 1800 et au début des années 1900, Schouw en 1822 et Warming en 1909 ont utilisé cette notion pour définir les plantes aquatiques comme « *des plantes poussant dans l'eau* ». Raunkiaer en 1905 et en 1934 l'a défini comme « *des plantes avec des bourgeons vivaces sous l'eau* » (Tiner, 2017).

Plusieurs définitions par les chercheurs de l'hydrophyte ont été proposées dans des articles, dans des revues scientifiques, des livres de limnologie, des guides de terrain sur les plantes des zones humides, des manuels d'identification et de délimitation des milieux humides ainsi que des rapports de classification des milieux humides de l'écologie des plantes aquatiques ou des milieux humides. Dans le cadre de la préservation des milieux humides aux États-Unis, des chercheurs américains ont présenté différentes définitions (Tiner, 1991) :

– Daubenmire 1968 :

« *Toute plante poussant dans un sol qui est au moins périodiquement déficient en oxygène, à la suite d'une consommation d'eau excessive* ».

– U.S Army Corps of Engineers 1987 :

« *Tout macrophyte qui pousse dans l'eau ou sur un substrat qui est au moins périodiquement déficient en oxygène, en raison d'une teneur excessive en eau ; les plantes que l'on trouve généralement dans les habitats humides* ».

– Sipple 1988 :

« *Les grandes plantes (macrophytes) ... qui poussent dans de l'eau permanente ou sur un substrat qui est au moins périodiquement déficient en oxygène en raison d'une teneur excessive en eau. Ce terme comprend à la fois les plantes aquatiques et les plantes des zones humides* ».

– Tiner 1988 :

« ... une plante individuelle adaptée à la vie dans l'eau ou des sols périodiquement inondés et/ou saturés... (qui) peut représenter l'ensemble de la population d'une espèce ou seulement un sous-ensemble d'individus ainsi adaptés ... »

Federal Interagency Committee for Wetland Delineation 1989 :

« Tout macrophyte qui pousse dans l'eau, ou sur un substrat qui est au moins périodiquement déficient en oxygène en raison d'une teneur excessive en eau ; les plantes que l'on trouve généralement dans les milieux humides et d'autres habitats aquatiques ».

Proposed Revisions 1991 :

« ... des plantes qui vivent dans des conditions d'humidité excessive ... la vie végétale macrophyte poussant dans l'eau ou sur des substrats submergés, ou dans le sol ou sur un substrat qui est au moins périodiquement anaérobie ... »

Les macrophytes aquatiques peuvent être définies comme des « organismes aquatiques photosynthétiques, assez gros pour être vus à l'œil nu, qui grandissent activement de façon permanente ou périodiquement submergés sous l'eau, flottant sur la surface de l'eau ou dans celle-ci ». Cette définition comprend les plantes aquatiques qui vivent dans des plans d'eau intérieurs, et dans des cours d'eau permanents, temporaires et éphémères. Les plans d'eau intérieurs permanents (y compris les lacs, rivières, canaux, réservoirs et autres eaux intérieures qui s'assèchent rarement, voire jamais) offrent de toute évidence un habitat potentiel de macrophytes, mais les plans d'eau temporaires et éphémères sont plus ouverts à la discussion sur leur statut en tant qu'habitats macrophytes (Murphy *et al.*, 2019).

En 1909, le botaniste danois Johannes Eugenius Bülow Warming a eu le mérite d'être le premier à classer les communautés végétales selon leur fonction hydrologique (Cronk et Fennessy, 2001). Force est de constater que les plantes aquatiques sont définies comme « des espèces submergées ou à feuilles flottantes, tandis que les plantes des marais ont été classées comme des plantes terrestres » (Cronk et Fennessy, 2001). C'est ainsi qu'il détermine deux classes oecologiques supportant des sols très humides : les hydrophytes (plantes submergées) et les hélrophytes (plantes émergentes).

– En premier lieu, un rapport du conseil national de la Recherche des États-Unis publié en 1995 : « Penfound (1952) a élaboré un système de classification reconnaissant deux groupes, les plantes terrestres et les hydrophytes, dont ce dernier comprenait à la fois des espèces submergées et émergentes » (Cronk et Fennessy, 2001).

– En deuxième lieu, il affirme, eu égard à ces définitions, que les plantes terrestres ne supportent pas les inondations ou la saturation du sol, pendant la période de développement alors que les plantes aquatiques exigent la submersion et pas l’assèchement contrairement aux plantes des milieux humides qui acceptent les deux.

En 1967, Sculthorp approuve cette définition de l’hydrophyte. Cependant, beaucoup d’auteurs ne différencient pas les plantes des milieux humides et les plantes aquatiques. C’est le cas en 1993, de Barrett et de bien d’autres qui emploient le mot « plante aquatique », avec une orientation étendue, en associant toutes les plantes vivant un milieu humide permanent ou saisonnier (Cronk et Fenessy, 2001). En revanche, d’autres auteurs comme Cook en 1996 définissent les plantes aquatiques comme : « [étant] les ptéridophytes (fougères et alliées des fougères) et les spermatophytes (plantes porteuses de graines) dont les parties photosynthétiques actives sont immergées de façon permanente ou semi-permanente dans l’eau ou flottent à la surface » (Cronk et Fenessy, 2001).

En 1988, Best confirme cette définition, en indiquant que les plantes aquatiques sont des espèces végétales qui « terminent leur cycle de vie avec toutes les parties végétatives submergées ou soutenues par l’eau ». Par exemple, les familles des espèces submergées et à feuilles flottantes (*Nymphaeaceae* et *Potamogetonaceae*). Il faut également préciser que d’autres termes ont été utilisés pour représenter des plantes des milieux humides : « *Limmophyte* (plante d’eau douce), *macrophyte aquatique* (plante visible à l’œil nu), *amphiphyte* (espèces capables de pousser sur terre ou dans l’eau), *hélrophyte* (plante émergente) et espèces *amphibies* » (Cronk et Fenessy, 2001). Tout bien considéré, une plante des milieux humides se définit comme une espèce qui pousse normalement dans ou sur l’eau, ou sur des sols inondés ou engorgés suffisamment longtemps. Cette analyse nous amène aux principaux types de répartition.

1.6.2 Les principaux types de répartition

Les plantes des milieux humides peuvent être cosmopolites, circumterrestres et endémiques. Certaines espèces colonisent plusieurs continents. L’aire de répartition géographique est si étendue qu’elles peuvent être observées dans toutes les régions du monde. Ce type de répartition concerne essentiellement des taxons, quel que soit leur rang taxonomique (espèce, genre, famille, etc.). Ce sont surtout les plantes aquatiques (eau douce marais, mangrove...) que l’on considère comme des espèces à aire cosmopolite en raison de la relative homogénéité du milieu (Lacoste et Salanon, 1999).

Sculthorpe (1967) a estimé qu'environ 60 % des espèces aquatiques ont des aires de répartition qui couvrent plus d'un continent. Les espèces les plus dispersées ont tendance à être les monocotylédones (Cronk et Fenessy, 2001). Le chercheur Sculthorpe (1967) indique que la *Lemna minor* est un exemple d'espèce flottante cosmopolite, absente de quelques zones seulement dans les régions tropicales et polaires (Cronk et Fenessy, 2001). Cette répartition très étendue relève de la dispersion liée à l'Homme [le transport par le vent et l'eau, le déplacement des oiseaux migrateurs et, de plus en plus, le transport par les humains] (Lacoste et Salanon, 1999).

Cependant, la majorité des plantes des milieux humides ne sont pas toutes cosmopolites mais, beaucoup restent liées à des limites strictes en latitude. Elles apparaissent par conséquent avec une répartition en bandes, correspondant à une localisation latitudinale (polaire, tempérée, subtropicale ou méditerranéen et tropicale) (Cronk et Fenessy, 2001). Par ailleurs, il existe également des espèces endémiques des milieux humides qui sont, par définition, confinées à de petites zones géographiques. En général, l'endémisme est le résultat d'un isolement, ce qui fait que les îles, certaines montagnes, parfois même les déserts peuvent être riches en espèces endémiques (Lacoste et Salanon, 1999).

Slack en 1979 pour les tourbières de montagne du Venezuela et Baskin en 1994 pour les mares printanières de la Californie soulignent leurs taux élevés d'endémies. Sculthorpe en 1967 indique que l'Amérique du Sud tropicale, les régions tropicales et subtropicales d'Afrique et d'Asie sont aussi notamment riche en espèces endémiques tels que *Sagittaria* et *Echinodorus* (Cronk et Fenessy, 2001).

En somme, les plantes des milieux humides se présentent dans des aires cosmopolites, circumterrestres ainsi que dans des aires géographiquement très restreintes où l'endémisme est très significatif. Après avoir examiné leur répartition géographique, il nous faut maintenant analyser les catégories de ces plantes parce qu'elles sont classées en fonction de leur morphologie.

1.6.3 Les types des plantes des milieux humides

En 1967, Sculthorpe souligne qu'elles *peuvent être flottantes, à feuilles flottantes, submergées ou émergentes*. C'est la raison pour laquelle il les regroupe en quatre catégories : les plantes émergentes, submergées, à feuilles flottantes et flottantes (Cronk et Fenessy, 2001).

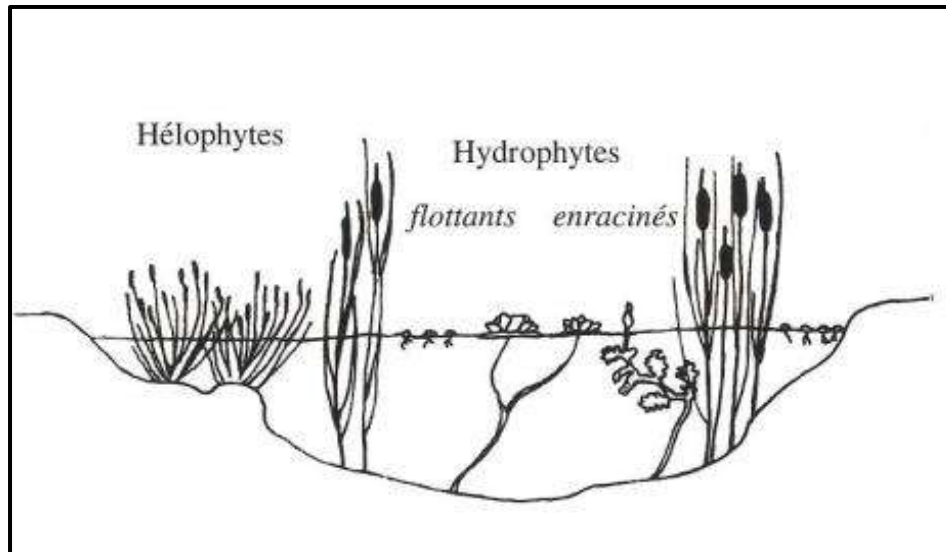


Figure 15 : Les types de plantes aquatiques (Chaïb, 1997, p.17)

1.6.3.1 Les plantes émergentes

Les plantes émergentes sont enracinées aux sédiments et certaines de leurs parties, telles que les feuilles et les fleurs, poussent à l'extérieur de l'eau. Et se situent dans les endroits peu profonds près de la rive. L'essentiel de ces plantes sont des herbacées. Par exemple, les *Poaceae* (graminées), les *Cyperaceae* (Cyperus), les *Juncaceae* (joncs) et les *Typhaceae* (quenouille) (Cronk et Fenessy, 2001).

1.6.3.2 Les plantes submergées

Les plantes aquatiques submergées sont enracinées aux sédiments, et croissent entièrement sous la surface de l'eau. Cette catégorie de plantes regroupe toutes les espèces dont les feuilles se développent sous l'eau. C'est le cas des familles dans lesquelles toutes ou presque toutes les espèces sont submergées. Telles que les *Callitrichaceae* (étoile d'eau), les *Ceratophyllaceae* (cornifle), les *Haloragaceae* (myriophylle d'eau), les *Potamogetonaceae* (potamots) et les *Lentibulariaceae* (vessies). La plus grande famille, avec 17 genres et environ 75 espèces connues, toutes submergées, est les *Hydrocharitaceae* (Cronk et Fenessy, 2001).

1.6.3.3 Les plantes à feuilles flottantes

Les plantes aquatiques à feuilles flottantes ont des racines ancrées aux sédiments, mais leurs feuilles et leurs fleurs flottent à la surface de l'eau portées par de longues tiges enracinées au fond des étangs et des mares. La famille *Nymphaeaceae* (nénuphar) est la plante la plus connue

de cette catégorie. Ils existent plusieurs variétés tels que *Nymphaea alba*, *Nymphoides peltata*, (Cronk et Fenessy, 2001) et *Nymphaea ampla* (Wiersema *et al.*, 2008).

1.6.3.4 Les plantes flottantes

Les plantes aquatiques flottantes ont des feuilles qui flottent à la surface de l'eau mais, contrairement aux autres plantes aquatiques, elles circulent librement dans l'eau, car leurs racines ne sont pas ancrées aux sédiments. Et se localisent communément dans les endroits où il y a peu de courant et où les concentrations en nutriments sont élevées. Elles se déplacent à la surface de l'eau avec les vents et les courants. Parmi les plantes flottantes, la famille la plus répandue est les *Lemnaceae*, qui comptent les genres *Lemna* (lentille d'eau), *Spirodela* (grande lentille d'eau), *Wolffiella* et *Wolffia*. Les plantes flottantes comprennent également des espèces plus importantes telles que : *Eichhornia crassipes* (jacinthe d'eau) et *Pistia stratiotes* (laitue d'eau), dont certaines sont devenues les espèces envahissantes les plus gênantes dans les milieux humides tropicaux et subtropicaux (Cronk et Fenessy, 2001).

Ces plantes propres aux écosystèmes aquatiques sont désignées par le terme de macrophyte. Les macrophytes se classent en deux catégories : les hélrophytes synonyme d'amphiphytes, amphibies, localisés près des rives puis les hydrophytes qui grandissent en pleine eau (Ramade, 2008).

1.6.4 La diversité floristique

La variété floristique des mares est composée en grande partie par des espèces aquatiques et des espèces terrestres au bord des eaux (Oertli et Frossard, 2013). Cette multiplicité végétale se divise en trois grands groupes que nous indiquons dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Les grands végétaux aquatiques

| Groupe 1 | Groupe 2 | Groupe 3 |
|--|--|----------------------------|
| <i>Algues</i> Phytoplancton Algues du biofilm Macroalgues | <i>Macrophytes</i> Hydrophytes Hélrophytes | <i>Végétation ligneuse</i> |

Le botaniste Raunkier a élaboré un système de classification écologique des plantes aquatiques. Il distingue deux types de végétaux : les hydrophytes et les hélrophytes (Figure 15). Toutefois,

d'autres chercheurs ont proposé une extension du système Raunkier (Mera *et al.*, 1999). En 1920, Clements a aussi identifié les héliophytes qu'il a définis comme des plantes amphibies enracinées dans l'eau ou de la boue (Tiner, 2017), par exemple, les *Typha*, *Phragmites* (roseaux), scirpes, papyrus, prèles, joncs, sagittaires, etc... (Ramade, 2008).

En 1929, Weaver et Clements ont affirmé « [que] les hydrophytes typiques poussent dans l'eau, dans un sol recouvert d'eau ou dans un sol habituellement saturé » (Tiner, 2017). Ils sont divisés en trois groupes : plantes submergées, flottantes, fixées ou libres. Nous distinguons trois types d'hydrophytes (Ramade, 2008) :

- les rhizophytes, plantes fixées par des racines sur le fond (sédiments ou tout autre substrat), à feuilles flottantes pourvues ou non de feuilles submergées : lotus, nénuphars, *Nymphaea*, (Ramade, 2008) ;
- les emmenophytes, plantes intra-aquatiques, entièrement submergées, dépourvues d'organes de flottaison, comme les *Myriophyllum*, *Najas*, divers *Potamogeton*, etc. (Ramade, 2008).
- les pleustophytes, plantes libres non enracinées, flottantes à la surface de l'eau, comme les lentilles d'eau (*Lemnaceae*), les jacinthes d'eau (*Eichhornia crassipes*), les *Salvinia*, etc. ou encore entièrement immergées (*Ceratophyllum*), (Ramade, 2008).

Les espèces des milieux humides comprennent également des ligneux, arbres et arbustes existant dans les forêts marécageuses, les tourbières, milieux forestiers riverains. Aux États-Unis, il y a des espèces tels que *Taxodium distichum* (cyprès chauve), *Nyssa aquatica* (tupelo aquatique), *Acer rubrum* (érable rouge) et les taxons des genres *Fraxinus*, *Quercus*, *Salix* et *Populus*. Les familles semblables renfermant des arbustes des milieux humides englobent les *Rosaceae* (rose), les *Cornaceae* (cornouiller), les *Rubiaceae* (garance, p. ex. *Cephalanthus*), les *Betulaceae* (aulne, p. ex. *Alnus*), les *Caprifoliaceae* (chèvrefeuille, p. ex. *Viburnum*), et particulièrement dans les tourbières, les *Ericaceae* (bruyères, p. ex. *Vaccinium*, *Chamaedaphne*) (Cronk et Fennessy, 2001). Mais, comme ils ne constituent pas la base de notre étude, nous nous contenterons de décrire les plantes aquatiques notamment les espèces invasives observées dans nos mares.

1.6.5 Les plantes invasives aquatiques

Les activités humaines, en raison des transports et de l'utilisation de tous les milieux aquatiques ou terrestres, sont depuis quelques siècles la source majeure, volontaire ou non, d'introduction d'espèces non indigènes dans d'autres écosystèmes que les leurs.

Ces espèces peuvent, dans certains cas, modifier profondément un écosystème jusqu'à être invasives, c'est-à-dire l'envahir au détriment des espèces autochtones. Il existe une profusion de termes pour nommer une espèce introduite : exotique, introduite, invasive, non native, non indigène, nuisible ou naturalisée qui sont tous à peu près synonymes (Luken cité dans Cronk et Fennessy, 2001). Il s'agit d'une espèce qui apparaît en dehors de son aire de distribution native et qui se maintient sans l'intervention de l'homme, et peut devenir un agent de perturbation à la diversité biologique autochtone.

Force est de constater qu'une grande majorité des milieux humides sont touchés par des espèces allochtones devenues invasives ou envahissantes. Elles sont considérées dans le monde, comme un danger important pour la diversité biologique des milieux humides. En effet, l'une des menaces de celles-ci reste que leurs populations augmentent rapidement par an, sans aucun obstacle, ce qui entraîne la modification des écosystèmes fragiles. En outre, elles se reproduisent rapidement pour assurer la continuité de leurs espèces. De surcroît, les milieux humides deviennent engorgés par la prolifération⁷ (Peltre *et al*, 1997) d'espèces végétales invasives. Enfin, elles causent de grands impacts écologiques et économiques (May, 2007). Par ailleurs, les milieux humides ont été catégoriquement transformés par les espèces invasives. C'est ainsi que, la végétation aquatique indigène est de plus en plus rare (Bazzaz, Meffe, Carroll, Cronk, Fuller, Zedler, Rea cités dans Cronk et Fennessy, 2001). Non seulement, les espèces invasives obstruent le débit de l'eau, réduisent la qualité des eaux mais aussi elles bloquent les installations hydroélectriques et autres (Van Zon cité dans Cronk et Fennessy, 2001).

Les plantes se sont propagées dans le monde entier par des mécanismes de dispersion naturels au fil du temps. En effet, l'homme a introduit des espèces de plusieurs façons : certaines ont été introduites délibérément comme par exemple les plantes ornementales, d'autres se sont échappées dans des zones naturelles après l'importation (par exemple, *Eichhornia crassipes*), tandis que d'autres sont entrées accidentellement dans de nouvelles zones : dans des colis ou des marchandises commerciales (Ruesink et coll. Cité dans Cronk et Fennessy, 2001). Certaines plantes des milieux humides intéressantes sur le plan botanique ont été transportées dans de nouveaux habitats à des fins d'étude ou d'enseignement, comme les espèces de *Salvinia*, (Cook dans Cronk et Fennessy, 2001, 1985).

Ainsi, les espèces exotiques envahissantes représentent une grave menace pour les écosystèmes aquatiques dans le monde. Elles peuvent remplacer les plantes autochtones, déplacer les

⁷ Multiplication rapide d'êtres vivants.

animaux, affecter les fonctions écosystémiques en modifiant l'hydrologie et le cycle des nutriments, affecter négativement les humains en entraver les voies navigables, et héberger les vecteurs de maladies (Simberloff cité dans Cronk et Fennessy, 2001).

CHAPITRE 2 : UN TYPE DE MILIEU HUMIDE : LA MARE

2.1 Définitions

Il existe de nombreuses définitions quelquefois divergentes de cet écosystème aquatique. C'est un milieu calme et modeste. Cependant, cette entité géographique est mal définie. En effet, la mare est un plan d'eau entourée de terre. Elle est caractérisée par l'hydromorphie, sa petite taille, sa faible profondeur et la variation de la hauteur de l'eau. Dans l'espace, elle est difficile à délimiter, sa superficie ressemble à une cuvette de réception d'eau. Nous notons plusieurs définitions scientifiques (Arnaboldi et Alban, 2006 p.9) : « *Étendue d'eau comprise entre 1 m² et 2 hectares qui, d'ordinaire, reste en eau au moins 4 mois par an* » (Biggs et al., 1994).

La mare est une étendue d'eau douce stagnante, de taille variable, évaluée en mètres carrés, pouvant s'étendre jusqu'à un maximum de l'ordre de 2000 m². Sa faible profondeur, qui peut atteindre environ 2 m, permet à toutes les couches d'eau d'être sous l'action du rayonnement solaire, ainsi qu'aux plantes de s'enraciner sur tout le fond. Souvent creusée par l'homme, elle se trouve également parfois dans des dépressions topographiques au substrat imperméable. Elle a donc une origine artificielle ou naturelle. Son niveau est très variable. Elle est alimentée par les eaux pluviales et parfois phréatiques. Avec son petit bassin versant, elle constitue un réseau hydrographique endoréique, auquel viennent souvent s'ajouter des eaux parvenant à la mare par des voies d'origine anthropique (fossé, rigole). Elle exerce un rôle de tampon au ruissellement. Il arrive qu'elle soit associée à un système de fossés qui la traversent. Les pertes d'eau sont dues à l'évaporation, l'infiltration ou encore un écoulement par trop-plein, si bien qu'elle peut s'assécher en été, par grandes chaleurs et/ou manque de précipitations. Elle présente un milieu de vie riche d'une flore et d'une faune parfois spécifiques. Cette diversité biologique peut comprendre de nombreuses espèces, des algues microscopiques aux plantes supérieures – hydrophytes, hélophytes – et de la microfaune à la macrofaune – mollusques, crustacés, insectes, poissons, batraciens, oiseaux, mammifères. Elle constitue un écosystème au fonctionnement complexe, ouvert sur les écosystèmes voisins (Jammes, 1996).

Une mare correspond à un biotope aquatique peu étendu et de faible profondeur dont les eaux sont en général dans un état eutrophe, voire dystrophe. Les mares prises au sens où l'entendent les limnologues se distinguent des étangs moins par leurs dimensions que par la surface relative de leur zone littorale (= riparienne) par rapport à celle en eaux libres. En fait, les mares représentent un stade intermédiaire entre les marécages (dans lesquels ne subsiste qu'une zone littorale) et les étangs (dans lesquels la zone limnétique est proportionnellement plus étendue) » (Ramade, 1998).

La mare est une étendue d'eau dormante intérieure qui ne possède pas de zone profonde et dont le fond n'est pas soustrait à l'action thermique du soleil. La profondeur maximale ne dépasse généralement pas un mètre, mais la mare est en eau toute l'année. Le développement de la végétation est possible partout (Mulhauser et Monnier, 1995).

Ces scientifiques différencient les mares permanentes, des mares temporaires. Ils les appellent « flaques », parce que selon eux, la profondeur maximale peut atteindre 0,5 mètre et le plan d'eau s'assèche au moins une fois durant l'année (Arnaboldi et Alban, 2006).

En présence d'un grand nombre de définitions, une quarantaine environ, le Pôle Relais Mares et Mouillères de France a tenté une synthèse et propose :

Le Programme National de Recherche sur les Zones Humides a établi la définition suivante :

La mare est une étendue d'eau à renouvellement généralement limité, de taille variable et de 5 000 mètres carrés au maximum. Sa faible profondeur, qui peut atteindre environ deux mètres, permet à toutes les couches d'eau d'être sous l'action du rayonnement solaire, ainsi qu'aux plantes de s'enraciner sur tout le fond. De formation naturelle ou anthropique, elle se trouve dans des dépressions imperméables, en contexte rural, périurbain voire urbain. Alimentée par les eaux pluviales et parfois phréatiques, elle peut être associée à un système de fossés qui y pénètrent et en ressortent ; elle exerce alors un rôle tampon au ruissellement. Elle peut être sensible aux variations météorologiques et climatiques, et ainsi être temporaire. La mare constitue un écosystème au fonctionnement complexe, ouvert sur les écosystèmes voisins, qui présente à la fois une forte variabilité biologique et hydrologique interannuelle. Elle possède un fort potentiel biologique et une forte productivité potentielle (Sajaloli et Dutilleul, 2001).

C'est la synthèse de 36 définitions.

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous utiliserons la définition suivante qui permet de distinguer clairement la mare de l'étang : « *La mare est une étendue d'eau stagnante, d'origine naturelle ou anthropique avec une superficie comprise entre 1 m² et 5000 m² et une profondeur inférieure 2 mètres* » (Oertli et Frossard, 2013).

2.2 Origines, formations et usages

2.2.1 Origines naturelles

Les mares sont donc des écosystèmes d'eaux douces d'origine naturelle ou anthropique très variés. Leurs origines font des écosystèmes très diverses. Aujourd'hui, il existe très peu de *mares naturelles*. Leur formation émane de l'affaissement des niveaux géologiques apparents comme les mardelles périglaciaires (Fénelon, 1972 ; Couderc, 1979 ; Braque, 1966), les dolines (Chaïb, 1997), les mares thermokarstiques (Bégin, 2015 ; Dupont, 2009 ; Crevecoeur, 2016) ou les mares cupulaires (Grillas *et al*, 2004).

La recherche n'a pas terminé d'explorer la formation de ces systèmes. Malgré l'intérêt grandissant pour ces écosystèmes aquatiques d'eau douce, la formation de ces mares naturelles reste encore méconnue.

- *Les mardelles*

Le terme de mardelle est issu d'un langage populaire du Bassin parisien. C'est à la fois une cavité sèche, une petite mare ou une cavité peu profonde en pente douce. Selon la Commission française des phénomènes karstiques, la mardelle est une doline enrobée de dépôts superficiels argileux imperméables (Fénelon, 1972). L'origine des *mardelles* est soit périglaciaire, créée par la fonte d'une loupe de glace ou soit karstique, créée par une dissolution de la roche sous-jacente (Braque, 1966).

Cette appellation n'existe que dans la région Centre-Val de Loire de la France. Il s'applique en même temps aux dolines, et aux cavités sèches analogues. Ces mardelles ont surtout été observées surtout dans les plateaux argileux de la Touraine dans le Sud-Ouest. Ce sont des dépressions fermées, inondées ou non. Elles ont une forme banale, allongée ou ronde (Braque, 1966). Elles se développent sur des sols argileux. Elles sont inondées pendant l'hiver. Leur profondeur approche 3 mètres. La longueur varie entre 10 et 80 mètres. La largeur est de 4 à 60 mètres. Elles peuvent être groupées, nous les trouvons dans les landes ou les forêts (Couderc, 1979). Elles sont alimentées par un bassin versant de quelques mètres carrés de surface qui recueille seulement des eaux de ruissellement sur un sol riche en silice et en matières organiques (Braque, 1966). Les mardelles se situent dans des milieux réunissant trois facteurs :

- une subhorizontalité des plateaux ;
- une possibilité d'infiltration superficielle ;
- et un sol à engorgement temporaire de nappe perchée superficielle appelé pseudogleys ou sol lessivé à pseudogley appelés localement « bournais ».

Toutefois, les mardelles localisées sur des pentes faibles, se retrouvent le plus souvent sur des terrains très argileux et humides en profondeur (Couderc, 1979). En outre, les terrains argileux à nappe perchée et tout particulièrement les sables argileux détritiques reposant sur l'argile à silex offrent des conditions pédologiques favorables à la naissance des mardelles (Couderc, 1979).

Le géographe Jean-Marie Couderc observe que le régime des eaux est assez étonnant. En effet, certaines mardelles sont sèches et d'autres à quelques mètres sont remplies d'eau alors que les conditions hydrologiques sont réunies. Sur le plan scientifique, il explique que ces deux phénomènes peuvent exister.

- *Les dolines*

Les géomorphologues karstiques ont toujours accordé une importance particulière à l'étude des dolines (Figure 16) depuis que Cvijic (1893) les a identifiées comme dépression karstique (Ford et Williams, 2013). Le terme doline est un dérivé du mot *dolina*, une expression slovène pour évoquer les vallées fluviales, les vallées sèches, les vallées aveugles, les *uvalas*, les *poljes* et les dolines karstiques (Sauro, 2019). Le nom *dolina* a d'abord été appliqué en 1848 par Morlot à une circulaire, fermée, dépression karstique. Par la suite, Cvijic, en 1895, a étendu l'utilisation du mot à toutes les dépressions circulaires fermées dans les zones karstiques.

Gams (2000) a en outre suggéré que le mot doline pourrait être remplacé par le terme *kraska*, afin de souligner son importance en tant que marqueur morphologique des paysages karstiques (Sauro, 2019).

Le karst classique, c'est le karst dinarique. Il est considéré comme la région classique du karst. Il se caractérise par des propriétés karstiques typiques. Ce karst classique de la zone tempérée a fait l'objet des recherches scientifiques, et il a été le plus étudié dans une période classique de la morphologie, de J. Cvijic à Grund, en passant par de Martonne et Danes (Lehmann, 1960).

Dans le karst dinarique, la doline se présente comme une dépression fermée sans écoulement superficiel, en forme d'écuelle peu profonde mais souvent aussi en forme d'entonnoir ou de chaudron aux parois raides. Les contours de la doline classique sont toujours plus ou moins arrondis (Figure 17). Derruau indique : « [Que] la doline est une dépression de forme ovale, à contours parfois sinueux, mais non anguleux » (Lehmann, 1960 ; Ford et Williams, 2013).

Ce sont des dépressions fermées Elles se développent sur des sols calcaires. Elles sont très fréquentes dans le plateau du Karst. Elles sont en général de formes circulaires à subcirculaires, et leur diamètre varie de quelques mètres à 1 km. La profondeur est comprise entre quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. La densité des dolines est plus élevée sur les pentes subhorizontales ou douces que sur les pentes abruptes. Les dolines font souvent défaut sur les pentes très raides.

Ils se forment par plusieurs processus, y compris la dissolution, l'effondrement et l'affaissement (Sauro, 2019 ; Ford et Williams, 2013). Enfin, les dolines relient la surface et les systèmes de drainage souterrains. L'absence d'eau calme, comme les lacs ou les étangs, au fond de la plupart des dolines révèle que l'eau est perdue dans le système karstique souterrain, le plus souvent dans les grottes (Ford et Williams, 2013).



Figure 16 : Doline Causse du Larzac (Haut plateau karstique français du sud du Massif central qui s'étend entre Milau et Lodève)

(Source : <https://paysageaveyron.fr/geologie-des-grands-causses/doline-larzac/>. Consulté le 23/04/2022)



Figure 17 : Doline cultivée dans la région de Cozina Slovénie

(Source : <https://www.philippe-crochet.com/galerie/karst/details/178/dolines-et-poljes/238379/pa-16-0131-237591legende> Consulté le 23/04/2022)

- *Les mares de fonte de pergélisol*

Les mares de fonte sont formées par la dégradation locale du pergélisol en hautes latitudes (Bégin, 2015 ; Dupont, 2009). Le pergélisol est un sol où la température ne dépasse pas 0° C pour une période minimale de 2ans (Washburn cité par Dupont, 2009). Le processus de fonte et de gel de la couche supérieure, appelée mollisol, du sol pergélisolé des régions polaires et subpolaires est un phénomène normal et saisonnier (Dupont, 2009).

Le pergélisol est caractéristique des régions arctiques. C'est un sol gelé depuis des milliers d'années et dégèle peu à peu sous l'effet du réchauffement climatique (Dupont, 2009). Durant l'été, on peut constater l'apparition de mares de fonte de pergélisol (Figure 19), aussi appelées mares de thermokarst (Bégin, 2015). Ce sont des dépressions remplies d'eau.

Les mares thermokarstiques résultant du dégel du pergélisol sont les types d'écosystèmes aquatiques les plus abondants aux latitudes circumpolaires arctiques, et subarctiques notamment au Canada (Crevecoeur, 2016 ; Breton *et al.* 2009 ; Dupont, 2009). En effet, ce sont de jeunes écosystèmes aquatiques formés par la dégradation locale du pergélisol en hautes latitudes et l'affaissement subséquent du sol où l'eau s'accumule (Harris *et al.* Cité par Bégin, 2015). En effet, le réchauffement de l'Arctique s'est récemment accéléré, déclenchant la formation des mares de fonte du pergélisol riche en glace.

Ces mares sont très nombreuses dans les régions arctiques et subarctiques, et leur nombre est appelé à augmenter par l'effet accéléré du réchauffement climatique sur la fonte du pergélisol (Crevecoeur, 2016 ; Bégin, 2015). Le réchauffement climatique entraînant une accélération de la dégradation du pergélisol (GIEC cité par Bégin, 2015) a ainsi amplifié la formation de ces mares.

Le relief qui en découle est appelé « thermokarst », par analogie au « karst ». Celui-ci représente la morphologie des formations de calcaire érodées par l'eau (Figure 18). Pour terminer, la formation des mares de thermokarst (Figure 18) transforme des milieux terrestres en habitats aquatiques (Payette *et al.*, cité par Bégin, 2015).

Nous distinguons deux types de mares de fonte :

- les mares dans les régions *subarctiques* en zone de pergélisol discontinu sont issues de l'affaissement de buttes pergélisol, peu profondes inférieures à 3 mètres, et repose sur un fond argileux (Calmels *et al.* Cité par Crevecoeur, 2016 ; Breton *et al.*, 2009 ; Dupont, 2009).
- les mares dans les régions *arctiques* en zone de pergélisol continu se développent dans le centre de polygones, et des ruisseaux se forment dans les coins de glace (Breton *et al.* 2009).

Elles sont moins profondes. Les mares sont très peu profondes inférieures à 0.5 mètres. Son sol favorise la colonisation des macrophytes (Breton *et al.*, 2009 ; Dupont, 2009).

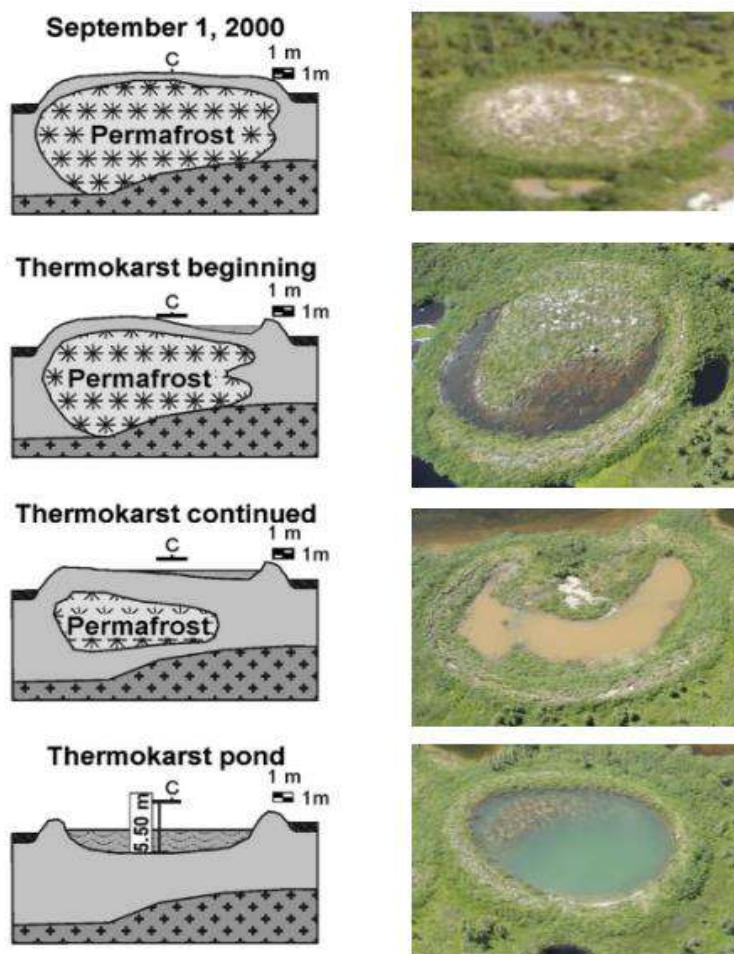


Figure 18 : Processus de formation des mares de thermokast sises sur une hutte minérale (Bégin, 2015)



Figure 19 : Un exemple de paysage du pergélisol avec des mares de fonte montrant la diversité des couleurs (Crevecoeur, 2016)

- *Les mares cupulaires*

Le chercheur Grillas souligne :

« [Que] ces mares de petite taille (quelques décimètres carrés à quelques mètres carrés) et de bassin versant très réduit, [...] sont creusées par l'érosion dans des blocs de roche dure ou des dalles rocheuses. Leur alimentation en eau est exclusivement pluviale. La dessiccation de leurs sédiments est extrême en phase sèche. Ces cupules se caractérisent par une faible épaisseur de sol et par une végétation discrète, associant des espèces de petite taille souvent rares. On les trouve, par exemple, [...] en France sur les dalles de rhyolithe dans le Var (Esterel), sur calcaire dans les Bouches-du-Rhône (Lamanon) ou sur affleurements granitiques en Corse. (Grillas et al., 2004).

Ce sont des cuvettes temporaires, en général de petite dimension quelques dizaines de centimètres à 1 ou 2 mètres de diamètres et très peu profondes, dans la roche (Figure 20).



Figure 20 : Micro-mare cupulaires par l'érosion dans des blocs de roche dure ou des dalles rocheuses (Ernandes et Marchiori, 2013, p.58)

D'autres mares peuvent se former naturellement dans les creux d'un relief. Elles se développent en raison « *d'anciens bras de rivières détournés de leur lit deviennent des « noues » dans lesquelles de l'eau subsiste* » (Van Dam *et al.*, 2012).

2.2.2 Origines anthropiques

La majorité des mares ne sont pas cependant d'origines naturelles, mais anthropiques. Ces dernières ont été une occasion directe pour créer des plans d'eau pour une multitude d'usages (Van Dam *et al.*, 2012). En effet l'homme a créé de nombreuses mares qui s'assèchent plus ou moins précocement au cours de l'année. Ce sont des mares artificielles, creusées par la main de l'homme pour répondre à un besoin en eau (Monot cité par Boissinot, 2009). Le géographe Sajaloli en 2006 affirme que les mares possèdent des fonctions individuelles et collectives. En effet, diverses activités s'organisaient autour de la mare : domestiques (cuisine, toilette, lessive), agricoles (élevage, cultures) et artisanales (vannerie, forge, etc.).

C'est ainsi, en Picardie, Hitier en 1903 affirme que : « *chaque village picard a, en effet, sa mare ou ses mares, établies en général sur un dépôt de bief à silex⁸. Ces mares sont alimentées surtout par les eaux de pluie tombant des toits des bâtiments et des granges dans la rue ; des rigoles⁹ les dirigent vers les mares. C'est là que viennent boire tous les animaux des fermes : chevaux, vaches, mouton* » (Figure 22) (Hitier, 1903). La mare était aussi aménagée pour la chasse, ou encore pour lutter contre les incendies. Certaines mares sont apparues suite à la suite d'activités industrielles abandonnées (activités minières essentiellement), à l'extraction de ressources minérales (marnes, roches volcaniques, gravier argiles), d'autres sont des vestiges de trous d'obus (Oertli et Frossard, 2013 ; Van Dam *et al.*, 2012).

2.2.3 Usages des mares

Nous observons une différence entre les usages actuels et les usages passés (Oertli et Frossard, 2013). En effet, ils se sont profondément métamorphosés au cours des décennies. Autrefois, rattachés aux usages quotidiens, tant agricoles, artisanales que domestiques, de nouvelles utilisations sont apparues tandis que d'autres ont disparu (Boissinot, 2009).

⁸ Formation composée d'argiles, de silex, de galets et de sables

⁹ Petit fossé artificiel creusé qui permet l'écoulement de l'eau

- *Les usages anciens*

D'abord, depuis le néolithique, dès leur sédentarisation et les débuts de l'agriculture, l'homme a creusé des mares pour répondre à leurs besoins en eau, particulièrement là où la ressource était rare par exemple dans les espaces au relief élevé et au climat sec. Cela a constitué une motivation pour la création des mares. En France, les mares ont augmenté au cours des siècles avec l'explosion démographique, les périodes migratoires des populations dans les campagnes et la révolution agraire (Boissinot, 2009). Elles étaient utilisées en tant que réservoir d'eau, pour la toilette, la cuisine et la boisson. Pour cela, l'eau était filtrée à travers le charbon, afin de la rendre propre à la consommation. Par exemple en Gâtine « *dans cette région d'élevage, chaque ferme a besoin de sa mare et l'histoire regorge de querelles, parfois violentes, provoquées par les besoins en eau des hommes et du bétail* » (Conservatoire d'espaces naturels de Poitou-Charentes cité par Boissinot, 2009). Chaque ferme possédait pour ainsi dire jusqu'au XX^e siècle son roudoir appelé parfois "mare au chanvre" (Boissinot, 2009). Le rouissage simplifiait la dissociation de l'écorce filamenteuse de la tige. Des "*mares aux poutres*" se trouvaient également près des forêts avec des troncs affectés aux charpentes et constructions (Boissinot, 2009). Chaïb (1997) indique « *[que] les mares servaient de lieu de culte druidique* ». Ainsi, le nom de « Mare Assé » (*Mara assae*) aurait été décerné à plusieurs mares en raison de son usage chez les Celtes de sacrifier les belettes (*Assa*), pour lire l'avenir dans leurs entrailles.

En outre, les mares se transformèrent en baptistères pour les adultes. Plus encore, les prêtres conduisaient des processions dans le but de prévenir les années sèches. En réalité, c'était pour éviter le tarissement des mares (Chaïb, 1997). Elles servent aussi d'abreuvoir pour le bétail, au trempage du fer incandescent, au nettoyage de la laine de mouton (Boissinot, 2009).

L'usage agricole est certainement le plus connu et le plus répandu. En effet, en l'absence de cours d'eau, l'agriculteur creusait une mare pour assurer les besoins. Ainsi, des mares abreuvoirs naissent, dispersées, dans les paysages ruraux afin d'abreuver le bétail (Graitson *et al.*, 2009). En Martinique, la majorité des mares a surtout été créées dans le Sud et Sud-Est dans la première moitié du XX^e siècle. Leurs usages étaient principalement liés aux activités agricoles.

Quant au choix de l'emplacement d'une mare, il ne se réalisait pas au hasard. L'homme choisissait des dépressions vers lesquelles l'eau s'écoulait naturellement. Il convenait de disposer d'un sol imperméable (Graitson *et al.*, 2009).

Selon les différents usages, l'entretien d'une mare était important parce qu'elle désignait une réserve d'eau employée pour de nombreuses activités courantes. C'est pourquoi, elle était précieuse et faisait l'objet d'entretien régulier. À vrai dire, cet écosystème aquatique est un système peu stable. De surcroît, il se caractérise par une grande dynamique temporelle. Et par manque d'entretien, il a tendance à se combler naturellement.

Dans ce cas, nous parlons d'atterrissement (Figure 21). Effectivement, des agronomes des XVIII^e et XIX^e siècles recommandaient l'emplacement de la mare et leur entretien : « *Elle[s] sera[ont] nettoyée[s] tous les ans ou tous les deux ans au plus tard. [Leurs] curures sont un excellent engrais, et paieront les frais de leur enlèvement* » (Tessier cité par Boissinot, 2009).



Figure 21 : Mare en état de comblement à Trinité Martinique 2019, Peguy Major©

- *Les usages actuels*

Cependant, les usages de la mare se sont profondément transformés. Ils diffèrent des usages du passé. La généralisation de l'arrivée de l'eau courante dans les années 1950 et les campagnes hygiénistes suppriment une partie de ces usages. En conséquence, la mare perd lentement ses usages agricoles traditionnels. De ce fait, l'eau stagnante est devenue impropre à la consommation et vectrice de maladies (Boissinot, 2009 ; Graitson *et al.*, 2009).

Dans les régions, où les activités agricoles basées sur la polyculture notamment l'élevage demeurent. Les éleveurs ont recours encore à la mare comme point d'alimentation en eau pour leur bétail. Qui plus est, elle accorde une réponse économique à l'agriculteur en diminuant les l'utilisation de l'eau en citerne qui implique du temps et plusieurs personnes.

Néanmoins, à cause des risques microbiologiques et toxicologiques, les mares sont remplacées par des bacs abreuvoir.

Les bacs abreuvoirs possèdent l'avantage d'être mobiles et le nettoyage facile. Par exemple, « *à défaut de clôture, des risques bactériologiques existent lorsque les cheptels descendent directement dans la mare entraînant la contamination de l'eau par les excréments* » (Boissinot, 2009 ; Graitson *et al.*, 2009).

Aujourd'hui les usages ont beaucoup changé. A l'arrivée de l'eau courante à volonté, immédiatement disponible au robinet, les mares ont progressivement perdu leur importance et ont été abandonnées.

Sur les 6 millions de mares que comptaient la France en 1900, seules 10 % existent encore aujourd'hui, soit 1 mare par km² ou 1 mare pour 100 habitants (Oertli et Frossard, 2013). Avec les transformations des pratiques agricoles (mécanisation nécessitant des parcelles « lisses », l'utilisation des produits phytosanitaires, l'uniformisation des paysages agricoles...), les changements des modes de vie en milieu rural, les mares ne sont plus entretenues, voire même considérées gênantes, insalubres ou dangereuses, elles sont de ce fait comblées.

Un bien triste sort pour ces « *trous d'eau* » qui ont rendu tant de services à nos aïeux. Toutefois, un certain nombre d'entre eux, dispersés dans les paysages, subsiste et il n'est pas rare d'en rencontrer à proximité des chemins ou dans une forêt.

En Martinique, une majorité d'entre elles est en état apparent d'abandon, alors qu'autrefois ces mares avaient des utilisations bien plus diversifiées que de simples abreuvoirs pour le bétail. Ces usages, notamment sociales et domestiques, s'évanouirent avec l'arrivée de l'eau courante.

Les mares sont, en général, de petites tailles ; il n'en demeure pas moins qu'elles restent nombreuses et ont d'importantes fonctions. Qu'elles aient été créées pour un but ou qu'elles soient nées par le fruit des dynamiques de la nature, les mares ont répondu à un besoin en eau de la population humaine croissante (Boissinot, 2009 ; Graitson *et al.*, 2009 ; Oertli et Frossard, 2013). Les créations volontaires ou involontaires des mares ont de multiples origines qui ont conduit à une plusieurs types de mares.



Figure 22 : Mare village Picard (Hitier, 1903)

2.3 Types et rôles des mares

2.3.1 Typologie des mares

La diversité des mares est liée à la diversité des usages qui ont motivé leur création. En effet, chaque type de mares, caractérisé par un environnement géographique, présente des spécificités en ce qui concerne la valeur biologique, les usages ou les pressions.

Le Réseau Européen pour la Conservation des mares et étangs (EPCN : *European Pond Conservation Network*) a élaboré une liste de la typologie des mares et des étangs en 2010 (Oertli et Frossard, 2013). C'est à partir de celle-ci que les pays européens se baseront et adapteront pour identifier les types de mares lors des campagnes d'inventaire (Tableau 7). Cette base aura comme objectif de réaliser un programme de préservation des mares. C'est pourquoi, il est nécessaire d'établir une typologie basée sur des paramètres biotiques et abiotiques des mares pour une meilleure gestion de ce milieu humide.

Tableau 7 : Liste non exhaustive des types de mares (Oertli et Frossard, 2013)

| | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Mares d'abreuvement du bétail | Mares de lavage des engins agricoles | Mares à canards |
| Mares de fermes | Mares de meulières | Mares de rouissage du lin |
| Mares tourbeuses | Mares de huttes ou de tonnes | Mares de lutte contre les incendies |
| Mares de friche | Mares de distillerie | Mares pédagogiques |

Sajajoli et Dutilleul en 2001, sous la dynamique du pôle-relais mares et mouillères de France, ont établi une typologie liée aux paramètres abiotiques des mares, fondée seulement sur la description de l'environnement (Tableau 8). Elle est valable uniquement dans le Bassin parisien. C'est un outil de gestion des mares (Oertli, Frossard, 2013).

Dans le cadre de notre objet d'étude, nous avons eu recours à cette typologie en l'adaptant à notre contexte local pour notre protocole de recherche.

Tableau 8 : Les sept types de mares (Oertli et Frossard, 2013 p.221)

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| Mare de prairie | Mare de coupe ou de fourré |
| Mare de champ | Mare de forêt |
| Mare d'habitat | Mare de route |
| Mare de lande ou de friche | |

Il existe plusieurs types de mares très différentes les unes des autres, de par leur taille, leur profondeur, leur situation : en prairie, en forêt, en terrain agricole... (Boissinot, 2009 ; Graitson *et al.*, 2009 ; Van Dam *et al.*, 2012).

- *Les mares de route*

Les mares de route sont liées aux infrastructures de transport et sont utilisées pour drainer et/ou épurer les eaux. Souvent ignorées, ces mares peuvent présenter une flore relativement riche. D'autres, en revanche, sont particulièrement dégradées et polluées par les hydrocarbures avec une flore inexistante (Oertli et Frossard, 2013).

- *Les mares de lisières*

Les mares de lisières se situent à l'interface des milieux ouverts et des milieux fermés. Elles ont une végétation herbacée typique des milieux humides soumises au rayonnement solaire. Ce sont des milieux riches du fait de la diversité d'habitats et d'espèces qu'elles présentent, étant des milieux de transition entre les mares forestières et les mares de prairie (Oertli et Frossard, 2013).

- *Les mares urbaines*

Les mares urbaines ont généralement une vocation décorative ou d'agrément. Elles se distinguent généralement par leur plus petite taille, un certain degré d'artificialisation, un linéaire de rives plus monotone, peu découpé et faiblement colonisé par les plantes émergentes, la présence de poissons ou de canards, un environnement artificiel avec peu de boisements et une connectivité physique faible avec les autres milieux aquatiques. Les mares urbaines ont un certain potentiel en matière de biodiversité, notamment dans le cadre d'une gestion orientée vers le développement de la biodiversité : plantes aquatiques, libellules et amphibiens (Oertli et Frossard, 2013).

- *Les mares forestières*

Par définition, ces mares sont entourées d'une strate arborescente développée et pouvant recouvrir tout ou partie de la mare. Ainsi, la surface de l'eau se trouve majoritairement à l'abri des rayonnements solaires nécessaires au développement de la végétation aquatique, qui de ce fait est généralement peu abondante. Peu de végétation aquatique signifie aussi, une faible concentration en oxygène dissout issu de la photosynthèse. Cette faible concentration en oxygène limite les processus de dégradation des feuilles et autres débris végétaux qui s'accumulent progressivement au fond de la mare (Oertli et Frossard, 2013).

- *Les mares de prairie*

Les mares de prairie de plaine ou d'alpage sont de formation naturelle ou anthropique. Dans ce dernier cas, on parle de mares agricoles. Ces mares ont été créées jadis pour abreuver les troupeaux, dans les pâtures ou le long des sentiers lors des déplacements du bétail entre l'étable et le pâturage. Les mares agricoles répondaient également à d'autres besoins humains (stockage d'eau, réserve à incendie, rouissage du lin et du chanvre, vannerie). Elles se maintiennent dans les secteurs où l'activité d'élevage est encore bien présente (Oertli et Frossard, 2013).

En revanche, ces différents types de mares ont chacun des caractéristiques, mais aussi des fonctions qui leur sont propres (Sajaloli *et al.*, 2001 ; Indermuehle *et al.*, 2008 ; Graitson *et al.*, 2009 ; Boissinot, 2009 ; Van Dam *et al.*, 2012).

2.3.2 Ecologie des mares

Depuis l'arrivée de l'eau courante, le rôle des mares paraît moins visible. En effet, les mares ont considérablement disparu des milieux agricoles et urbains, toutefois d'autres apparaissent avec des fonctions nouvelles. De plus, les mares présentent de nombreuses utilisations parfois insoupçonnées :

– *Fonctions économiques*

Les mares peuvent être source d'économies pour le gestionnaire mais aussi pour la collectivité. Un éleveur pourra, par exemple, se servir de l'eau contenue dans la mare pour y faire boire son bétail. Si elle est bien gérée, l'eau est de bonne qualité pour l'abreuvement et cela évite d'utiliser l'eau du robinet coûteuse à la fois en matière de consommation mais également du point de vue de transport jusqu'aux animaux, sans compter le temps passé à cet acheminement.

– *Lutte contre les incendies*

Ces points d'eau dispersés sur le territoire sont autant de « bornes naturelles d'incendie » qui peuvent contribuer à la lutte contre le feu.

– *Fonctions hydrologiques :*

Epuratrices (élimine des polluants diffus) et régulatrices (lutte contre les inondations, les crues, l'érosion des sols).

– *Fonctions biologiques*

Réservoir de biodiversité et production de biomasse.

– *Fonctions climatiques*

Régulation des microclimats (participe au cycle de l'eau).

– *Fonctions écologiques*

Certaines plantes présentes dans les mares permettent de capter et dégrader des matières polluantes comme le phosphore, l'azote ou encore les métaux lourds.

– *Fonctions sociales et patrimoniales*

Les mares sont des témoins du passé. En effet, elles sont les témoins d'usages et de savoirs anciens qui ont façonné le milieu rural. Certaines sont bâties et constituent de petits bijoux architecturaux dans la campagne. À noter que bien souvent les mares bâties étaient considérées comme très importantes (parce qu'il y avait une source et que son eau était consommée par exemple). D'autres encore peuvent être au centre d'une histoire ancienne ou même d'une littérature (La mare au diable de George Sand). Et si vous observez bien votre mare et que vous y portez attention vous verrez alors le pouvoir qu'elle peut avoir sur votre imagination.

– *Fonction d'éducation à l'environnement*

Aujourd'hui, ce sont par ailleurs d'excellents supports pédagogiques pour faire découvrir la nature aux enfants, tant on peut y observer de forme de vie sur un espace restreint. Elles ont aussi un rôle paysager et esthétique indiscutable dans l'amélioration du cadre de vie.

2.4 Dynamique morphologique et hydrologique de la mare

2.4.1 Biogéographie et biophysico-chimique

Tout bien considéré, les mares ont été réalisées par des processus naturels ou anthropiques. Toutefois, ce sont des écosystèmes instables et de résilience faible. En effet, l'évolution dynamique de ce type de milieu humide résulte de deux processus : l'atterrissement et l'assèchement. Le processus d'atterrissement (Figure 25) se caractérise par l'accumulation des matières organiques.

Pour tout type de mare, l'atterrissement est normal et imparable. Effectivement, celui-ci se produit en raison de la situation topographique, des caractéristiques et de la nature du sol de la mare. Il est possible, mais difficile, de classer les mares par leur niveau trophique.

La mare peut être oligotrophe, mésotrophe ou eutrophe. Des apports considérables en nutriments peuvent la rendre hypertrophe et réduisent la biodiversité. Ce processus d'eutrophisation s'explique par le faible volume d'eau ce qui entraîne une forte concentration en nutriments. Dans le même temps, il conduit inéluctablement à la disparition à long terme de la mare au profit d'un autre écosystème : le boisement humide (Oertli, Frossard, 2013).

Tout compte fait, cet écosystème aquatique est fortement dépendant de son environnement et produit constamment de la matière organique. Certains facteurs abiotiques influencent le type d'occupation du sol du bassin versant. En effet, la qualité physico-chimique de l'eau joue un rôle important dans le fonctionnement de la mare et est dépendante de trois types d'alimentation en eau :

- eau de surface
- eau souterraine
- eaux courantes

Les deux premiers types posent moins de problèmes, alors que les eaux courantes sont source de pollution. Par exemple, les mares sont entourées par des espaces urbains avec plusieurs activités humaines telles que : l'utilisation des engrais et des pesticides par l'agriculture. En réalité, l'agriculture participe à la richesse des mares en nutriments (phosphores, nitrates, etc.).

Or, une croissance continue en quantité de ces nutriments est une cause principale d'eutrophisation des plans d'eau. Ces nutriments sont souvent responsables de la prolifération des plantes aquatiques et des algues dont certaines sont indicatrices du niveau de pollution des eaux. Les mares servant de point d'eau au bétail, les déjections animales également enrichissent l'eau de matières organiques (Oertli et Frossard, 2013).

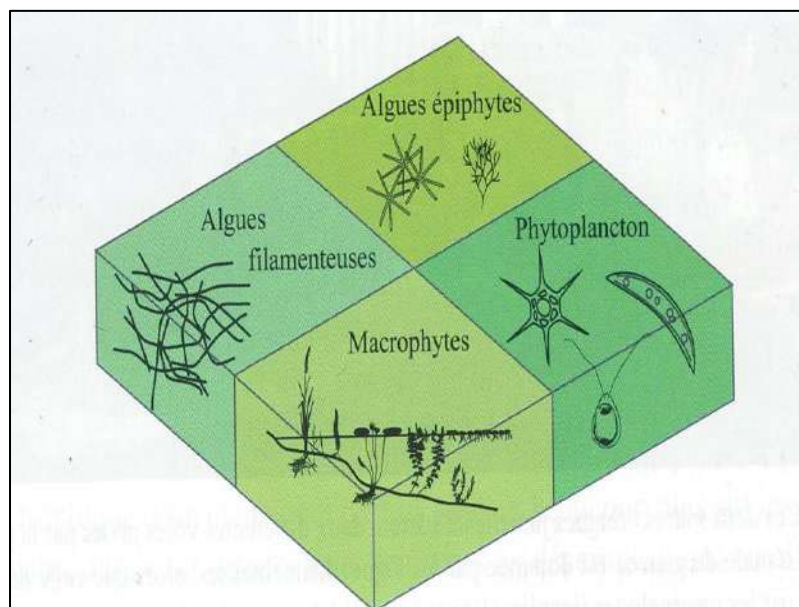


Figure 23 : Les quatre principaux types de matière organique (Oertli et Frossard, 2013 p.189)

Le niveau trophique participe à la production de matière organiques dans la mare (Figure 23). Ainsi, les chercheurs Oertli et Frossard distinguent deux origines de la production de matière organique l'une endogène et l'autre exogène que nous déclinons dans le tableau 9 :

Tableau 9 : Les types de matières organiques (Oertli et Frossard, 2013)

| Matières organiques | |
|----------------------|-----------------------------|
| <i>Endogène</i> | <i>Exogène</i> |
| Algues filamenteuses | Végétation en décomposition |
| Algues épiphytes | Poissons |
| Macrophytes | Amphibiens |
| Phytoplancton | Insectes |

Dans cet écosystème, une chaîne alimentaire permet de réguler plusieurs niveaux trophiques. En ce sens, le processus d'accumulation des nutriments est ralenti par des consommateurs (herbivores et détritivores) qui eux-mêmes sont fagocités par d'autres prédateurs (Hervé, 2018 ; Oertli et Frossard, 2013).

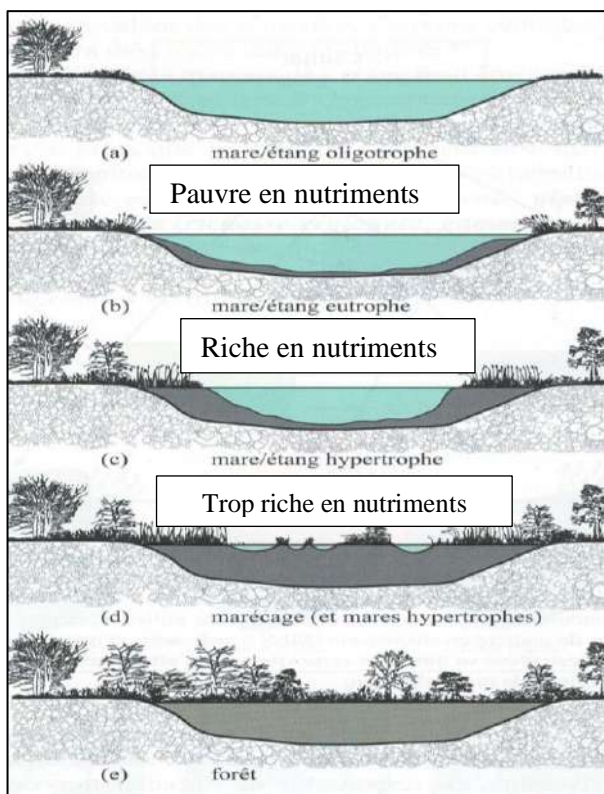


Figure 24 : Processus d'atterrissement d'une mare ou d'un étang (Oertli et Frossard, 2013, p.211)

2.4.2 Le régime hydrique

La mare est une petite étendue d'eau stagnante dont la taille et les caractéristiques hydropériodes changent. C'est un plan d'eau naturel ou artificiel se situant dans une zone qui peut être permanente ou saisonnière (Indermuehle *et al.*, 2008) et participe au cycle de l'eau (Figure 25). L'eau, qu'elle accueille provient du bassin versant dans lequel elle se situe. En effet, celui-ci émane de quantité irrégulière, des eaux de pluie, des nappes phréatiques, des ruissellements de surface et également, pour certaines, par le débordement du cours d'eau proche. Son réapprovisionnement hydrique est en général soumis aux précipitations, aux fluctuations des nappes ou des crues. De ce fait, elles sont donc propres à s'assécher naturellement pendant plusieurs mois chaque année et ne sont pas toujours alimentées en eau continûment. Ce sont des mares temporaires. Effectivement, la faible profondeur des mares fait que les pluies, les ruissellements et même le débordement du fleuve ne suffisent pas à maintenir l'eau dans les mares toute l'année.

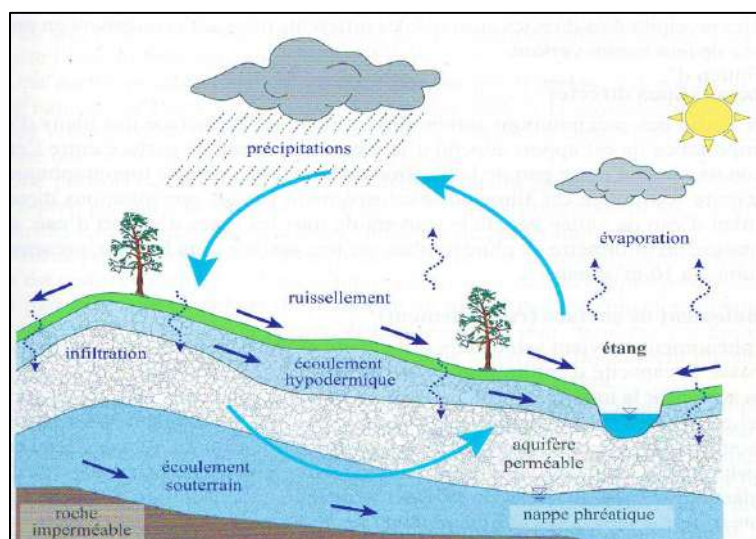


Figure 25 : Le cycle de l'eau et son moteur, l'énergie solaire (Source : Oertli et Frossard, 2013 p.29)

Une étude du chercheur Buckwell en 1997, sur les comportements de la mare et de la nappe par rapport à des épisodes pluvieux sélectionnés, a montré que l'augmentation et l'abaissement des plans d'eau dépendaient de l'état hydrique des sols avant et pendant l'épisode pluvieux, de la hauteur des plans d'eau avant les précipitations, de la hauteur et de la fréquence d'eau précipitée.

Les mares se caractérisent par l'absence de système de vidange contrairement aux étangs. L'origine morphologique des mares conditionne également leur alimentation en eau (Oertli et Frossard, 2013).

La mare dépend des apports de son bassin versant. Et, en fonction de la topographie et de la géologie du bassin versant ainsi que son réseau hydrographique, la mare sera approvisionnée par une *arrivée distincte*, par un *apport diffus* ou par l'association de ces deux modes d'approvisionnement que nous énonçons dans le tableau 10 :

Tableau 10 : Modes principaux d'alimentation (Source : Oertli et Frossard, 2013, p.32)

| <i>Arrivée distincte</i> | <i>Apport diffus</i> |
|--------------------------|--|
| Cours d'eau naturel | Precipitation directe |
| Canal | Écoulement de surface |
| Conduite d'amenée | Écoulement hypodermique de subsurface |
| | Écoulement souterrain (nappe phréatique) |

2.5 Un écosystème peu étudié

La limnologie inventée par F.-A. Forel en 1892 a permis aux chercheurs de distinguer les eaux continentales de surface en deux grandes catégories : les milieux aquatiques d'eaux courantes et les milieux aquatiques d'eaux stagnantes (Dussart, Angelier cités dans Bartout et Touchart, 2013). Ce dernier est divisé en général en quatre grands types : les lacs, les étangs, les mares et les marais (Oertli et Frossard, 2013). Cependant, les limnologues ont toujours concentré leurs recherches sur les lacs, et en particulier les grands lacs (Bartout, 2015).

Pour autant, peu à peu, leur recherche s'oriente vers des petits écosystèmes lenticques anthropiques, implantés depuis plusieurs années : les mares et les étangs (Bartout, 2015). Si ces eaux stagnantes sont fortement étudiées par les scientifiques entre 1990 et 2000, sauf qu'elles ne sont pas prises en considération dans la réglementation pour des inventaires remarquables. Toutefois, Oertli et Frossard (2013) évoquent « *[que] les mares et étangs sont des écosystèmes naturels ou artificiels particulièrement abondants dans notre paysage. Leur grande importance a été démontrée sur les trois plans écologique, social et économique* » (Bartout, 2015).

2.5.1 Des biotopes aquatiques temporaire et permanente

Selon Bernard Dussart, les mares sont « *de très petits lacs naturels ou artificiels, où la végétation littorale est soit presque nulle, soit au contraire très développée* » D'une profondeur

variable, une mare est parfois temporaire, l'absence de l'eau est due soit à une infiltration lente, soit à l'évaporation sous les climats secs. Elles sont très nombreuses dans les zones chaudes et sèches, mais aussi présentes dans les zones tempérées ou froides.

La mare est un écosystème particulier autonome avec une dynamique qui lui est propre, puisqu'il reçoit des apports de l'extérieur, mais n'exporte rien d'autre que de l'eau par évaporation. Et contrairement aux étangs, elle ne comporte pas d'exutoire artificiel permettant de la vidanger. Leur nombre est estimé à près de 600 000 sur le territoire français (Bertrand *et al.*, 2014).

2.5.2 Cartographie et photographie aérienne

Les mares, écosystèmes aquatiques de petites tailles ont fréquemment été omises par la cartographie. En effet, il est difficile parfois de les représenter sur les cartes à cause du choix de l'échelle spatiale différente. Le géographe et géomorphologue Jean Tricart souligne dans un article¹ « [que l'échelle] désigne un niveau d'observation pertinent » (Orain, 2004).

C'est seulement sur la carte de l'Institut Géographique National (IGN) à l'échelle au 1/25 000 – la plus couramment utilisée –, que les mares sont indiquées. Nous notons que selon l'échelle, il peut y avoir quelque marge d'erreur sur le nombre de mares représentées. Ces difficultés, nous les rencontrons également avec la photographie aérienne. En réalité, il est compliqué d'identifier les mares lorsqu'elles sont entourées d'arbres ou cachées par l'ombre des bâtiments (Sajaloli et Teissier-Ensminger, 1997).

Pour résumer, il est important d'adopter une certaine distance par rapport aux cartes IGN 1/25000 et aux photographies aériennes. Une vérification sur le terrain est nécessaire pour confronter les données et éviter des erreurs statistiques.

2.5.3 Inventaires des écosystèmes lentiques

Les chercheurs scientifiques affirment que les estimations actuelles de la superficie et de la distribution de ces écosystèmes d'eau douce à l'échelle mondiale sont sujets à de grands doutes (Kalff, Lehner, Doll cités dans Downing *et al.*, 2006). En effet, les inventaires ont intégré les lacs et jamais les mares et les étangs (Oertli et Frossard, 2013).

Les mares sont considérées comme de petits étangs et représentent plus de 91 % de l'ensemble des écosystèmes lentiques (Downing *et al.* 2006). Le nombre de mare entre 100 et 1000 m² est

estimé à 3 milliards dans le monde (Oertli et Frossard, 2013). Ce chiffre a été extrait des données de Downing *et al.* (Figure 26).

Par ailleurs, les mares sont inégalement réparties dans le monde. Leur densité est particulièrement élevée en Europe, Est des Etats-Unis et du Canada, Afrique centrale, Amérique du Sud, Chine orientale, Japon, Nord et Est de la Russie. Elle est nettement plus faible en Afrique du Nord et du Sud et en Australie. Le nombre de mares est estimé à 1 million en France (Oertli et Frossard, 2013).

Néanmoins, le nombre de plans d'eau de petite taille a été sous-évalué par les analyses d'images satellitaires antérieures parce que la résolution ne permettait pas de détecter des plans d'eau de moins de 0,1 km² (Downing *et al.*, 2006).

¹ J. Tricart, « La géomorphologie et la notion d'échelle », *Revue de Géomorphologie dynamique*, 1952, V, n° 5, p 213-218.

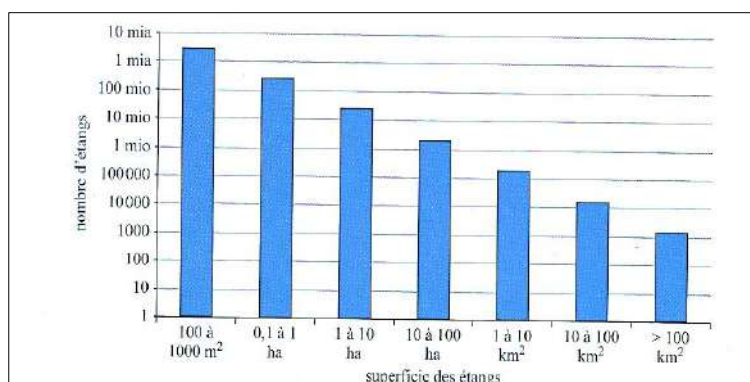


Figure 26 : Nombre d'étendues d'eau stagnante (mares, étangs ou lacs) en fonction de leur superficie (Source : Oertli et Frossard, 2013, p.5)

2.6 Les espèces végétales propre à la mare

2.6.1 Les facteurs abiotiques et biotiques

La typologie des plantes aquatiques de ce type de milieu humide ayant été abordée au chapitre précédent. Nous nous concentrons sur les facteurs abiotiques et biotiques qui influencent la communauté des espèces, la répartition, l'abondance des espèces végétales et la diversité floristique dans la mare. En effet, les macrophytes aquatiques constituent un environnement

essentiel à de nombreux écosystèmes d'eau douce. Le rôle multiple des macrophytes aquatiques dans les habitats d'eau douce est étroitement lié à leur répartition, qui dépend à son tour de plusieurs facteurs.

Nous retrouvons parmi les plus importants : la lumière, la température de l'eau, les changements de qualité de l'eau, l'enrichissement en nutriments, la teneur des sédiments et les variations des niveaux d'eau. La lumière et la température sont d'une influence fondamentale pour déterminer la distribution (avec la profondeur, la saison et la latitude), influençant ainsi la productivité et la composition des espèces (Dar *et al.*, 2014 ; Chaïbet *et al.*, 1997 ; Barbe, 1984).

La distribution forme des ceintures végétales plus ou moins concentriques (Chaïb *et al.*, 1997 ; Barbe, 1984). La composition des sédiments affecte de façon marquée les taux de croissance des macrophytes qui, à leur tour, ont une profonde influence sur la distribution des macrophytes aquatiques. L'altération de la qualité de l'eau et l'enrichissement en nutriments peuvent causer des fluctuations considérables dans la richesse des espèces, la composition et la densité de la végétation aquatique. De même, la réduction des niveaux d'eau peut entraîner des modifications radicales dans la composition des espèces et la distribution des macrophytes. Les facteurs associés à la compétition entre les espèces végétales jouent aussi un rôle considérable dans la distribution et la structure des communautés de macrophytes. Dans cet écosystème d'eau dormante (la mare), nous distinguons trois zones (Figure 27) clairement séparées par le type et la taille des peuplements végétaux (Barbe, 1984) :

- une *zone littorale* colonisée par des macrophytes disposés en ceintures plus ou moins nettes, pouvant d'ailleurs se rejoindre dans les étangs peu profonds ;
- une *zone pélagique*, bien éclairée, domaine du phytoplancton ;
- une *zone profonde*, obscure, où ne subsiste qu'une flore achlorique (bactéries et champignons) et quelques cyanophycées.

La *zone littorale* abrite des végétaux de types biologiques différents définis suivant leur position par rapport à la surface de l'eau.

Compte tenu du rôle important joué par les macrophytes aquatiques, il est important de comprendre les facteurs écologiques qui influencent leurs répartitions dans les mares. Nous proposons un bref aperçu de ces facteurs qui affectent la distribution des macrophytes est donné ci-dessous.

- *La température*

Dans la plupart des systèmes aquatiques, les variations saisonnières de la photopériode et du rayonnement solaire déclenchent des changements correspondants de la température de l'eau (Barko *et al.* cité par Dar *et al.*, 2014). Nous savons que la lumière et la température agissent conjointement sur la croissance, la morphologie, la photosynthèse, la composition de la chlorophylle et la reproduction des macrophytes. Quoique les températures, situées dans les limites de la résistance thermique, facilitent la croissance et la reproduction des plantes aquatiques, la diminution de la température de l'eau peut être l'un des facteurs responsables de la réduction de la croissance saisonnière des macrophytes liée à la profondeur. Les scientifiques affirment que les changements temporels, dans la distribution de certaines espèces de macrophytes, sont principalement liés à la température (Chaïb *et al.*, 1997). En effet, les variations de la composition et de la distribution de certaines espèces de macrophytes aquatiques, principalement les espèces submergées, sont dues, aux écarts de température. Elles indiquent que la température est aussi importante que la lumière pour influencer les interactions compétitives entre les espèces coexistantes. Des études récentes (Dar *et al.*, 2014) ont montré que l'augmentation des concentrations de nutriments, liées à la pollution, diffusion due à l'augmentation des précipitations, peut entraver les changements de distribution des macrophytes.

- *La lumière*

La répartition des macrophytes dépend, en grande partie, de la clarté de l'eau et de la quantité de lumière qui atteint la plante. Un certain nombre d'études ont révélé que c'est le facteur le plus important qui régit l'abondance, la composition et la répartition des macrophytes (Dar *et al.*, 2014). C'est le cas des hydrophytes flottants sollicitant beaucoup de soleil (*Pistia stratiotes*) et les héliophytes au bord de la mare (*Cyperus papyrus*). Par contre, une faible luminosité diminue la croissance des espèces végétales dans les mares forestières. Notons également que certaines espèces, telles que les hydrophytes submergées, ont un besoin d'une faible luminosité (Chaïb *et al.*, 1997).

La transmission de la lumière est étroitement liée à la profondeur de l'eau. Ainsi, les eaux les plus profondes entravent les processus de dispersion et d'absorption (Dar *et al.*, 2014). Certaines espèces de macrophytes aquatiques, la plupart submergées, s'étendent généralement à la surface des eaux, afin de maximiser leur absorption de la lumière et du CO₂ nécessaires à la photosynthèse. C'est le cas de *Hydrilla verticillata* qui est très efficace pour allonger ses pousses (Dar *et al.*, 2014 ; Bornette et Pujalon, 2009).

À propos de la transparence de l'eau, certains travaux spécifient que la différence climatique associée à la latitude géographique semble avoir une forte influence sur la relation entre la transparence de l'eau et la répartition en surface des plantes submergées. Par contre, d'autres études montrent que les variations de la profondeur de l'eau entraînent des variations dans les zones, la répartition, la biomasse et la richesse des espèces (Rougerie, 1994). Dans cet habitat aquatique qu'est la mare, la capacité d'atteindre la lumière n'est pas directement liée à la taille des plantes, mais à leur capacité de produire des feuilles flottantes ou submergées (Dar *et al.*, 2014 ; Bornette et Pujalon, 2009).

- *Les facteurs chimiques*

• *Qualité de l'eau et caractéristiques liées aux sédiments*

De multiples recherches ont été menées parfois pour évaluer les conséquences de la qualité de l'eau, des caractéristiques des sédiments et des formations géologiques sur la distribution des macrophytes aquatiques.

Les facteurs liés aux sédiments tels que la teneur élevée en matière organique, la faible disponibilité de l'oxygène, la limitation des nutriments et la composition granulométrique sont connus pour agir sur la distribution et la variété des macrophytes aquatiques dans des proportions variables.

La croissance des plantes aquatiques enracinées est favorisée, par rapport au phytoplancton, en raison d'une concentration plus élevée de phosphore dans les sédiments (Scheffer *et al.* cité par Dar *et al.*, 2014).

• *Enrichissement des nutriments*

La distribution et la croissance des macrophytes aquatiques des nutriments, en particulier le nitrate et le phosphate qui ont été notés comme favorisant la croissance des macrophytes (Frankouich *et al.* cité par Dar *et al.*, 2014).

L'enrichissement en nutriments peut provoquer des modifications non négligeables dans la densité, la composition des espèces et la richesse de la végétation aquatique dans les mares. Il se peut que les concentrations élevées de nutriments puissent entraver les schémas de répartition des macrophytes dictés par le climat (Rosset *et al.* cité par Dar *et al.*, 2014). L'enrichissement en nutriments de l'eau dû aux sols argileux a probablement entraîné une relation positive entre la répartition de la végétation des héliophytes et les sols à grain plus fin et les roches mères moins acides. Récemment, Shah et Reshi (2014) ont établi un lien entre la distribution de la flore aquatique exotique dans différents écosystèmes aquatiques de l'Himalaya du Cachemire et leur statut trophique (Dar *et al.*, 2014).

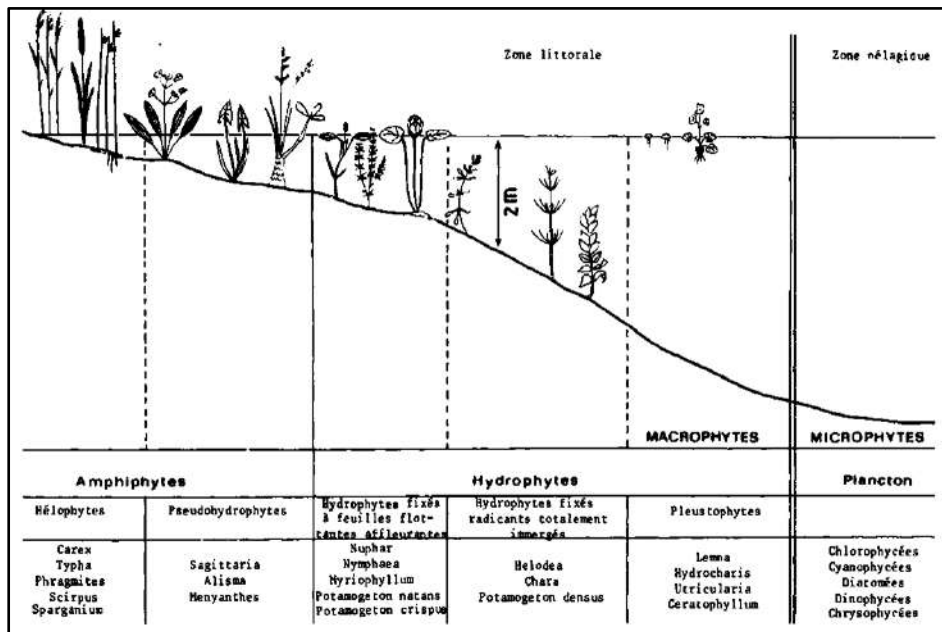


Figure 27 : Répartition des plantes aquatiques dans un écosystème d'eau stagnante (Source : Barbe, 1984, p.12)

2.6.2 La différentes compétitions entre les espèces

Selon de nombreux chercheurs (Ramade, 2008), il est bien établi que des concurrences positives, négatives, ou indifférentes peuvent se produire entre des plantes d'espèces différentes. En effet, deux espèces partageant les mêmes ressources vont généralement développer un phénomène de compétition pour obtenir plus de ressources, au détriment de l'autre espèce : *compétition interspécifique*. Il peut également exister une compétition parmi des individus d'une même espèce, pour les mêmes raisons : *compétition intra-spécifique* que nous n'avons pas pris en compte dans notre étude.

À propos de la *compétition interspécifique* entre les plantes, certains spécialistes estiment qu'il est le principal facteur biologique, qui façonne la composition et la distribution de la végétation aquatique dans les écosystèmes d'eau douce (Dar *et al*, 2014). La compétition interspécifique se produit entre des individus d'espèces différentes, lorsque ceux-ci nécessitent la même ressource limitative : comme les nutriments, le carbone inorganique, l'espace ou la lumière. Les résultats (d'un tel phénomène) peuvent entraîner l'établissement et la croissance préférentielle de certaines espèces, la suppression ou l'extinction d'autres espèces. Ces dernières années, plusieurs études ont été rapportées sur les interrelations entre différents macrophytes aquatiques (Agami et Reddy, 1990). La concurrence interspécifique aide à déterminer la répartition et l'abondance des espèces au sein d'une communauté (Cronk et Fennessy, 2001).

Concernant les compétitions interspécifiques, diverses études ont montré qu'entre les espèces naturelles, celles-ci peuvent jouer un rôle plus important dans la formation des macrophytes (Dar *et al.*, 2014). Il existe des preuves que certains facteurs biotiques issus du broutage, des agents biologiques, etc. agissent aussi sur les modèles de distribution des macrophytes submergés (Nichols et Shaw cité par Dar *et al.*, 2014).

En outre, il y a fort longtemps, l'introduction d'espèces exotiques par l'homme (par exemple, *Eichhornia crassipes* et *Pistia stratiotes*) peut réduire de manière significative la population de macrophytes d'eau douce indigènes (Dar *et al.*, 2014 ; Hofstra *et al.*, 1998).

Une étude expérimentale a consisté à mettre, dans des bassins d'eau supplémentés de nutriments, deux macrophytes aquatiques flottant librement, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms et *Pistia stratiotes* L, afin d'étudier la compétition entre eux. Lors de cette expérimentation de physiologie végétale, *Eichhornia crassipes* a montré une dominance sur *Pistia stratiotes*, lorsque les espèces étaient cultivées ensemble.

Une autre observation de terrain a été faite, et a aussi révélé un phénomène de compétition dans une mare à Basse-Pointe (Voir chap. Résultats).

La répartition des végétaux des mares n'est pas aléatoire (Figures 27). Les plantes sont groupées en associations qui répondent à des facteurs écologiques communs.

Dans nos mares anthropisées, objet de notre étude, nous avons observé une végétation aquatique variée.

Trois types de végétaux s'y développent en leurs sein et bordure :

Les végétaux non fixés (pleustophytes), dominés par des hydrophytes libres à feuilles flottantes (*Lemna polyrhiza* et *Pistia stratiotes*).

Les végétaux fixés, dominés par des hydrophytes fixées à feuilles flottantes ou feuilles submergées (*Hydrilla verticillata*, *Nymphaea ampla* et *Eichhornia crassipes*).

Les végétaux herbacés amphibies (hélophyte) dominés par une espèce en bordure des mares (*Cyperus papyrus*).

En somme, l'ensemble de ces facteurs détermine, la présence de telle ou telle espèce qui compose, au final, les différents groupements végétaux que l'on peut observer dans une mare.

2.7 Menaces et enjeux de préservation mares

2.7.1 Un écosystème lentique menacé à préserver ?

Actuellement, nous constatons une régression du nombre de mares. En effet, elles sont confrontées à de nombreuses menaces, notamment l'intensification de l'agriculture, la pollution, le captage excessif de l'eau, le drainage des terres, le développement, une gestion inappropriée ou inexistante et, presque certainement, le changement climatique (Indermuehle *et al.*, 2008). En outre, les évolutions naturelles de création des mares ont été durement réduits par les activités humaines, contribuant à la diminution globale du nombre de mares dans le paysage.

D'abord, abandonnées, de nombreuses mares se comblent naturellement. Plus nombreuses encore sont celles remblayées volontairement. Ensuite, avec l'intensification agricole, le développement des zones urbaines et des infrastructures de transport, les mares deviennent consommatrices d'espaces cultivables ou constructibles, synonymes d'insécurité et d'insalubrité. Enfin, la pollution des eaux de surface (intrants agricoles, métaux lourds, etc.) et l'artificialisation des milieux (introduction d'espèces exotiques, aménagements paysagers, etc.) participent à la dégradation de leur qualité écologique. C'est ainsi qu'en Pologne, l'utilisation de fortes doses d'engrais minéraux et de pesticides a entraîné la dégradation et l'élimination complètes, de nombreuses mares à cause de la pratique de l'agriculture intensive (Gamrat, 2006). Les connaissances acquises de ces milieux humides ont montré qu'au cours du 20^e siècle, à ce siècle, jusqu'à 90% des mares ont disparu dans certains pays ; la plupart des pays d'Europe occidentale enregistre un taux de perte supérieur à 50% (Indermuehle *et al.*, 2008). Cette décadence n'a pu cesser, parce que la protection des mares, à quelques exceptions près, n'a pas été prise en compte comme une priorité importante (*ibid.*).

- *Le changement climatique*

Le changement climatique mondial modifie profondément les écosystèmes aquatiques (Polunin cité par Williamson *et al.*, 2009). En effet, les mares, en tant qu'écosystèmes aquatiques fragilisés par les activités humaines, font partie des écosystèmes les plus menacés par le changement climatique (Woodward *et al.*, 2010 ; Williamson *et al.*, 2009). Le climat fluctuant, déjà important chez ces petits écosystèmes dynamiques, seront amplifiées, ce qui modifiera les processus géochimiques (Gilbert *et al.*, 2017).

L'élévation des températures atmosphériques induira un réchauffement de l'eau des mares alors que, parallèlement, elles recevront moins d'eau du fait de précipitations très perturbées (O'Reagan *et al.*, 2014 ; Woodward *et al.*, 2010). Elles risquent donc de s'assécher plus tôt, plus rapidement, voire de disparaître, accentuant la fragmentation de ce réseau de milieux. Des mares jusqu'ici permanentes pourraient devenir temporaires (Woodward *et al.*, 2010 ; Macrae *et al.*, 2014 ; O'reagan *et al.*, 2014). Pour une mare, cela peut signifier un changement de taille important, parfois des variations de la salinité (Labaugh *et al.*, 2018). Ainsi au Canada, la hausse des températures et l'avancement des dates de dégel n'ont pas encore impacté la durée pendant laquelle les mares sont en eau, à un point tel que le taux d'évaporation soit significatif, suite à une forte oscillation interannuelle. Mais dans cette région du monde les pluies ont augmenté, notamment l'été, il est donc possible que de telles variations aient déjà eu lieu ailleurs (Macrae *et al.*, 2014).

- *La biodiversité*

Les écosystèmes d'eaux douces représentent 0.8% de la surface de la planète mais abritent 6% de la biodiversité spécifique (Woodward *et al.*, 2010). Elles constituent des hot spots de biodiversité (Gilbert *et al.*, 2017). En réalité, les *mares* regroupent une grande variété d'habitats propices à la *biodiversité*. De ce fait, elles sont des lieux de reproduction privilégiés pour de nombreuses espèces s'y installant durablement. Nous pouvons retrouver des *espèces faunistiques* comme les amphibiens : grenouilles, crapauds, tritons, les odonates : libellules et demoiselles et des *espèces floristiques* : roseau massette, Iris des marais, menthe aquatique.

Le changement climatique agit sur la répartition des espèces dans les mares. En outre, il augmente le risque d'invasions, mais également d'extinctions. De ce fait, la dispersion ou la migration qui sera indispensable à la survie de certaines espèces, est limitée par la fragmentation de ces milieux. Les espèces sténothermes froides, qui représentent presque 20% de la biodiversité des mares européennes, sont donc fortement menacées à long terme (Gilbert *et al.*, 2017 ; Oertli et Frossard, 2013 ; Woodward *et al.*, 2010).

- *La végétation aquatique*

Très peu de données sont disponibles sur la végétation des mares face au bouleversement du contexte climatique. Les impacts du changement climatique sur les espèces végétales ont surtout été étudiées dans les systèmes agricoles et forestiers (Cornelissen, 2011). Nous faisons l'hypothèse que la végétation profitera du « boost de photosynthèse » causé par l'augmentation des teneurs en CO₂ atmosphérique (Oertli et Frossard, 2013), mais il est plus probable qu'elle soit négativement impactée par la sécheresse. En revanche, les espèces végétales exotiques envahissantes seront potentiellement favorisées par l'hiver (Oertli et Frossard, 2013).

- La faune aquatique

• *Les insectes*

Les insectes constituent une part essentielle de la biodiversité des mares (Oertli et Frossard, 2013). Ces espèces sont mobiles. Et ils ont à la fois une forte capacité reproductrice et des cycles de vie courts, ce qui devrait conduire à d'importantes adaptations aux changements climatiques (Woodward *et al.*, 2010). D'un autre côté, une forte vague de chaleur pourrait empêcher les insectes de terminer leur développement et nuire à la survie des espèces par assèchement prématuré de la mare.

• *Les amphibiens*

Il n'a pas été prouvé que le changement climatique soit une cause directe de la baisse actuelle du nombre des amphibiens. Par contre, il est admis que ces espèces sont impactées par les changements qui vont s'intensifier, notamment à cause de leur faible mobilité (O'reagan *et al.*, 2014). Le facteur du changement climatique qui agirait le plus sur les amphibiens est la disponibilité en eau. Les variations de précipitations affectent fortement la reproduction : mortalité des larves, et donc influence les espèces à faible longévité. La baisse du niveau d'eau diminue la quantité des ressources végétales : supports de ponte et base du réseau trophique (Oertli et Frossard, 2013). Ce décroissement concentre les polluants et accentue l'exposition aux UV-B, ce qui favorise les infections par des champignons. Enfin, les adultes peuvent aussi mourir de déshydratation en cas de très forte sécheresse (Carey et Alexander, 2003).

2.7.2 Gestion de ce biotope aquatique

Pendant très longtemps, les mares n'ont fait l'objet du même intérêt accordé aux autres points d'eau. Depuis une quinzaine d'années, débute un changement. Nous nous apercevons que l'eau devient une ressource rare et coûteuse. Le monde agricole redécouvre les avantages des plans d'eau de proximité. Nous constatons que les mares remplissent plusieurs fonctions aussi bien biologiques que sociales. Aujourd'hui, une demande croissante de restauration ou même de création de mares est fortement sollicitée (Oertli et Frossard, 2013). Par ailleurs, les chercheurs ont de plus en plus exprimé la nécessité de renforcer les efforts de conservation des mares, à un niveau supranational en raison de la grande valeur des mares, et de l'intérêt limité pour leur protection. Les motifs de sauvegarder ces petits écosystèmes lenticques ne manquent pas, qu'ellessoient d'ordre paysager, social, patrimonial, écologique ou encore hydrologique.

Nous retenons qu'au fur et à mesure que la connaissance des mares s'est amplifiée, elles ont commencé à bénéficier d'une plus grande protection, en particulier dans les régions méditerranéennes de l'Europe, à la suite de l'identification des mares temporaires

méditerranéennes, en tant que priorité dans la Directive Habitats et de l'adoption de la résolution VIII-33 (2002) du RAMSAR sur l'inscription des mares temporaires en tant que sites RAMSAR. Cependant, dans une grande partie d'Europe, les petits plans d'eau reçoivent encore très peu de protection : par exemple, ils sont effectivement exclus des dispositions de la directive-cadre sur l'eau (DCE ; CE 2000), même si cela est destiné à assurer le bon état de toutes les eaux (Indermuehle *et al.*, 2008). C'est dans ce but, que le réseau européen de conservation des mares a pour mission de promouvoir la sensibilisation, la compréhension et la conservation des petits écosystèmes lenticques dans un paysage européen en mutation. Les objectifs spécifiques sont :

Échanger des informations sur l'écologie et la conservation des mares/étangs entre chercheurs, gestionnaires et praticiens.

Promouvoir la compréhension de l'écologie des mares/étangs en encourageant le développement et la coordination de la recherche fondamentale et appliquée.

Améliorer l'image des mares/étangs et guider les politiques nationales et politiques nationales et supranationales pour leur protection.

Promouvoir une conservation pratique et efficace des mares/étangs.

Diffuser des informations sur l'importance, l'attrait et la conservation des mares/étangs auprès de la population.

Au début des années 90, les pouvoirs publics, constatent la diminution généralisée des zones humides. Ils ont engagé diverses actions (loi sur l'eau, SDAGE, SAGE, Natura 2000). La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 définit les zones humides comme : « *Des terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hydrophiles pendant au moins une partie de l'année* ».

Cette définition inclut les mares. Ainsi, cela pousse les scientifiques à s'y intéresser de près : des suivis ; des études comparatives ; des inventaires sont de plus en plus nombreux. L'objectif est d'approfondir les connaissances sur les mares, afin de comprendre leur fonctionnement en tant qu'infrastructure naturelle d'une part et d'autre part de mieux s'imprégner des valeurs patrimoniales et historiques qu'elles portent. La priorité est de mener une politique de conservation et des mesures de protection concrètes et durables.

La majorité des mares ont une origine anthropique. Il est nécessaire, pour les préserver, de les entretenir car sans plan d'action, elles sont vouées à disparaître. Soulignons qu'une mare sans entretien se comble après quelques dizaines d'années. Ce phénomène de comblement également appelé atterrissement entraîne la plupart des travaux de restauration et d'entretien des mares (Oertli et Frossard, 2013).

Les mares font l'objet de plusieurs plans de gestion. Dans le cadre de notre recherche, nous avons opté pour la présentation de deux plans de gestion, l'un d'origine continentale et l'autre d'origine insulaire.

Le programme LABEL MARE¹⁰

Ce programme régional lancé en 2004, vise à créer des mares écologiques et pédagogiques. Il est porté par l'association *Nord Nature Chico Mendès*, et est ouvert à toutes les structures scolaires ou extra scolaires de la région Nord-Pas de Calais. Il est réalisable à condition que ces dernières disposent d'un terrain avec l'autorisation d'y creuser une mare.

Le projet est financé à 100 % par *Nord Nature Chico Mendès*. Les objectifs pédagogiques du programme sont :

- construire chez le jeune un savoir citoyen sur la connaissance de son environnement, en favorisant son implication active et en adoptant une démarche interdisciplinaire ;
- promouvoir un savoir-être citoyen, pour qu'il participe par ses attitudes à protéger la nature en stimulant la coopération dans l'action ;
- favoriser son engagement dans des actions de sauvegarde de l'environnement.

Le projet REMA : Restauration et Entretien des Mares des Antilles¹¹

Ce projet consiste à restaurer et à entretenir des mares de la Guadeloupe, de la Martinique et de Saint-Martin. Il durera vingt-six mois, et a pour finalité de réaliser un guide *technique articulé autour d'une dizaine de mares à restaurer*. Ces mares seront soumises à des essais préalables sur une année lesquels donneront lieu à une restauration et à des conseils et des *conseils d'entretiens adaptés qui seront retranscrits dans le guide REMA*.

En somme, les mares sont des écosystèmes lenticques complexes. Elles jouent un rôle important dans la préservation de la ressource en eau et de la biodiversité. Ces biotopes aquatiques sont en grande majorité d'origine anthropique, et ont été creusés pour répondre aux besoins en eau et à des usages diversifiés.

¹⁰ <http://www.nn-chicomendes.org/consulté>. Consulté le 19/05/2022.

¹¹ <https://www.pole-tropical.org/2022/04/le-projet-rema-restauration-et-entretien-des-mares-des-antilles/>. Consulté le 19/05/2022.

PARTIE II : MATÉRIEL ET MÉTHODE

CHAPITRE 3 : MATÉRIEL

3.1 Territoire d'étude : La Martinique

La zone d'étude est celle mentionnée dès le début de cette thèse : la Martinique. C'est une île étroite et allongée. Elle s'étire sur 65 km du Sud-Est au Nord-Ouest (Isnard, 1956). Elle est positionnée à 14°40' de latitude Nord et 61° de longitude Ouest. Elle couvre une superficie de 1128 km². Elle comprend 34 communes (Figure 29). Cet espace insulaire appartient à l'arc des Petites Antilles du petit bassin de la Caraïbe entre la Dominique au Nord et Sainte-Lucie au Sud (Figure 28). Cette île est entourée à l'Ouest par la mer de la Caraïbe et à l'Est par l'océan Atlantique. C'est une île essentiellement volcanique et montagneuse. Son relief est très accidenté. La Martinique compte environ 355 094 habitants en 2021, avec une densité de 314.80 habitants par km².

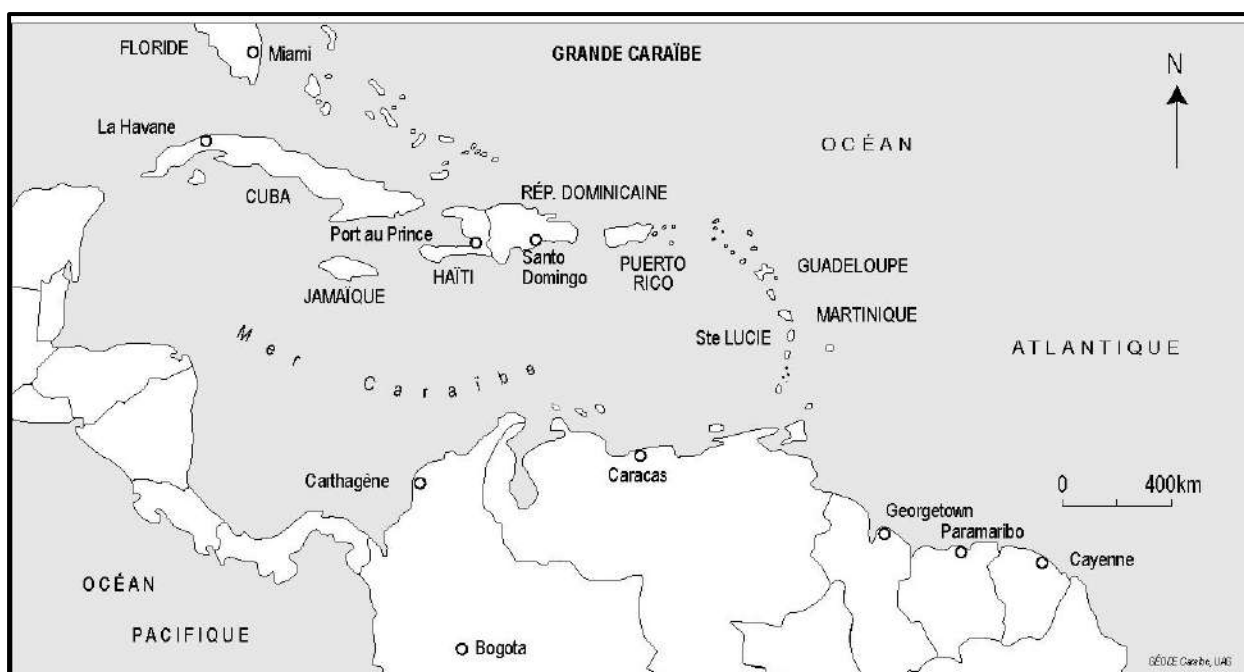


Figure 28 : Carte du bassin de la Caraïbe

(Source : <http://www1.univ-ag.fr/aihp-geode/ea929/images/cartes/carte249.jpg> Consulté le 21/04/2021)

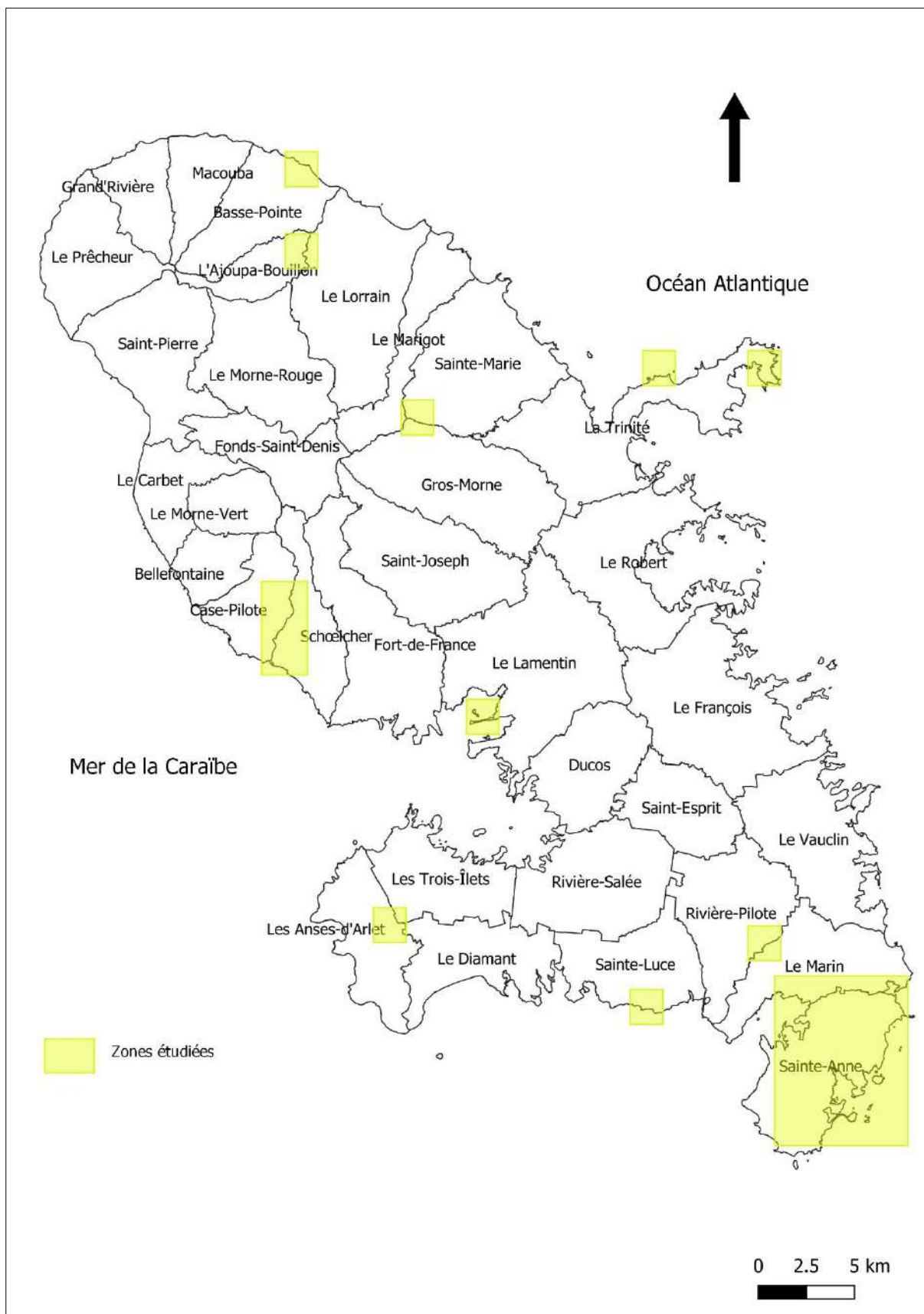


Figure 29 : Carte¹² de la zone d'étude. Réalisée par Peguy Major

¹² Carte réalisée à l'aide du logiciel Qgis

3.2 Relief et Paysages

La Martinique est un espace insulaire formé d'une variété de paysages. En effet, son relief contribue d'une grande importance à la diversité des paysages et à l'organisation du territoire. Les paysages de la Martinique indiquent une opposition simple. Ce qui caractérise cette région, c'est un Nord plus accidenté de moyennes montagnes, et un Sud moins élevé aux paysages calmes : plaines et collines. Autrement dit, le territoire est divisé en deux parties : le Nord et le Sud, en fonction du relief et du climat, comme l'a distingué la carte de Moreau du temple en 1770 (Bégot *et al.*, 1998).

Plusieurs unités géomorphologiques telles que des montagnes, des plaines et des collines aux caractéristiques géographiques différentes constituent le relief (Figure 32).

Le Nord est constitué de quatre montagnes volcaniques, dominé par le Morne Jacob ; les Pitons du Carbet : 1207 m ; la Montagne Pelée : 1397 m et le Mont Conil (Brasseur, 1977).

Les matériaux du relief se situent à la fois sur le littoral Atlantique, et sur celui de la mer Caraïbe. Le versant occidental est composé par un amas de coulée de lave andésitique et marqué par des vallées denses et ouvertes. Ces deux massifs sont séparés par le haut plateau du Morne Rouge : 500 m d'altitude.

Une plaine de 75 km² se dégage dans ce relief accidenté avec une altitude moyenne de 25 m. Il s'agit de la plaine du Lamentin, au centre de l'île.

Le Sud est montagneux, mais les altitudes ne sont pas très élevées. Il est plutôt régulier et morcelé. Le Sud-Est, composé d'une succession de reliefs moyens : les *mornes* – on désigne par *morne* aux Antilles, des collines plus ou moins élevées pouvant atteindre jusqu'à 507 m d'altitude : la Montagne du Vauclin, le Morne Caraïbe : 359 m et le Morne Gommier : 273 m (Brasseur, 1977). Le Sud-Ouest plus atténué, avec les Mornes Gardier : 401 m, Bigot : 467 m, La plaine : 399 m et Larcher : 477 m. La presqu'île de la Caravelle se particularise sur la façade atlantique par sa faible altitude entre 3 et 70 m.

3.2.1 Les paysages du Nord

Le paysage est formé de moyennes montagnes dont l'altitude est comprise entre 1000 et 1500 mètres. Il est plus accidenté que celui du Sud. Ce paysage montagneux regroupe deux massifs rapprochés de formes circulaires, qui culminent respectivement à 1196 m et 1397 m : les Pitons

du Carbet et la Montagne Pelée, séparés par un ensellement transversal reliant Saint-Pierre sur la côte Ouest et la côte de l'Est par Morne-Rouge. Ces sommets sont des édifices volcaniques plus ou moins anciens (Faugères, 1966).

La Montagne Pelée a une forme en tronc de cône régulier, s'élevant d'un seul jet au-dessus de la mer. Sa superficie est de 120 kilomètres carrés pour un diamètre de base moyen de 13 kilomètres. Elle est entaillée par des ravines encaissées.

Les pitons du Carbet forment un relief énergique avec six sommets de plus de 1000 mètres. Ce massif montagneux est le plus ancien et inactif. C'est un relief dynamique limité par de longs versants réguliers s'étalant sur plusieurs centaines de mètres avec une pente supérieure de 50°. Les pentes s'atténuent uniquement sous les sommets de 25° à 30° (Faugères, 1966).

3.2.2 Les paysages du Sud

Ils sont composés de plaines et de collines appelé *mornes* aux Antilles. Les altitudes sont plus basses que le Nord (Morne Larcher : 477 m ; Montagne du Vauclin : 507 m). Ces *mornes* sont des massifs volcaniques anciens. Les plaines sont peu vastes, fragmentées et enserrées entre les mornes.

Nous distinguons deux espaces morphologiques très différents :

- au Sud-Est, c'est un relief énergique composé de crêtes divisés par un réseau hydrographique dense et encaissé ;
- au Sud-Ouest, le paysage est composé par un ensemble de collines (morne) aux points culminants arrondis peu disséqués dont le plus haut est le Morne Larcher (477 m).

Tout bien considéré, il faudrait relever que la topographie de l'île est très accidentée (Figure 32). Elle possède plus de la moitié des pentes supérieures à 20 % (Portecop, 1979). Cette forte dénivellation plus l'opposition Nord-Sud jouent un rôle considérable dans la localisation des mares.

3.2.3 Les mares dans le paysage

Les mares constituent un point essentiel du paysage de l'île. En effet, elles se localisent pour la grande majorité dans les plaines baptisé savane, et les collines appelées morne. Elles participent

ainsi à la diversification des paysages et des écosystèmes. Qu'elles soient de petites ou d'immenses tailles, ces écosystèmes lenticques sont les artères vitales de notre paysage.

Après l'abolition de l'esclavage, le type dominant est un paysage essentiellement agricole et urbain. Ces changements du paysage de la Martinique résultent du développement de la petite paysannerie, de l'exploitation de la forêt martiniquaise, de l'essor de la banane et du nouveau statut politique de la Martinique en 1946 : la départementalisation (Major et Claude, 2017).

Les paysages de la Martinique sont aujourd'hui transformés par les activités humaines pour répondre aux besoins socioéconomiques de la population (*ibid.*). Plusieurs éléments constitutifs composent le paysage de la Martinique : les mangroves, l'habitation, l'habitat, les ravines, les forêts, les haies, les jardins créoles, la banane, la canne à sucre, la pêche, les réseaux, les mares et les savanes (Major et Claude, 2017).

La savane représente l'un des milieux naturels prototypiques des régions continentales d'Afrique, Asie, Australie, Amérique ou des domaines insulaires (Grandes et Petites Antilles, Bahamas et îles du Cap Vert dans l'Atlantique, etc.). Nos écrivains, nos essayistes antillais utilisent ce lexème, tout comme la population, pour désigner nos prairies, en créole : *Savane des pétrifications* à Sainte-Anne, *la Savane* à Fort-de-France, la *Grande Savane* à Ducos.

Géographiquement, la savane est un paysage qui un terme polysémique avec différentes approches géographiques (Artigas, 2009). Elle se décline autrement selon les sous-disciplines de la géographie physique (biogéographie, écologie, géomorphologie, hydrologie ...).

Nous retiendrons la définition de la géomorphologie dans le cadre de notre étude suivante : « *La savane est une unité morphologique propre des milieux tropicaux, contrôlée par une évolution climatique ou anthropique avec différents processus d'altération, d'érosion et d'accumulation* » (Artigas, 2009)



Figure 30 : Photo d'une savane arbustive à Saint-Anne quartier Crève-Coeur, 2022, Peguy Major©

Le géographe Jean Demangeot (2010, page 219) différencie trois types de savane :

« Il existe quelque, certes des formations herbeuses pures, dites précisément savanes herbeuses (campos) et surtout en région humide. Mais le plus souvent elles sont piquetées de plantes ligneuses qui vont du buisson à l'arbuste et à l'arbre de taille moyenne : on parle alors de savane buissonnante, de savane arbustive (Figure 30), de savane arborée » (Figure 31).



Figure 31 : Aspect des savanes (Source : Demangeot, 2010, p.220)

(Légende : 1. Savane herbeuse 2. Savane arbustive 3. Savane arborée)

Trois étages de végétations sont à considérer (Joseph, 1997) :

- l'étage supérieur : forêts ombrophiles montagnardes et sub-montagnarde ;
- l'étage moyen : forêts sempervirentes saisonnières tropicales types ;
- l'étage inférieur : forêts sempervirentes saisonnières d'horizons inférieurs.

Les mares sont réparties entre les étages moyens et inférieurs. *L'Atlas du paysage de la Martinique* présente aussi un découpage de l'île en six grands ensembles, dont deux au Nord : *La Montagne Pelée, Les Pitons du Carbet* ; et quatre au Sud : *La baie de Fort-de-France, La presqu'île du Diamant, Les mornes du Sud et la Presqu'île de la Caravelle, La presqu'île de Saint-Anne* (PNRM, 2013), dans lesquels les mares sont visibles à travers ce découpage.

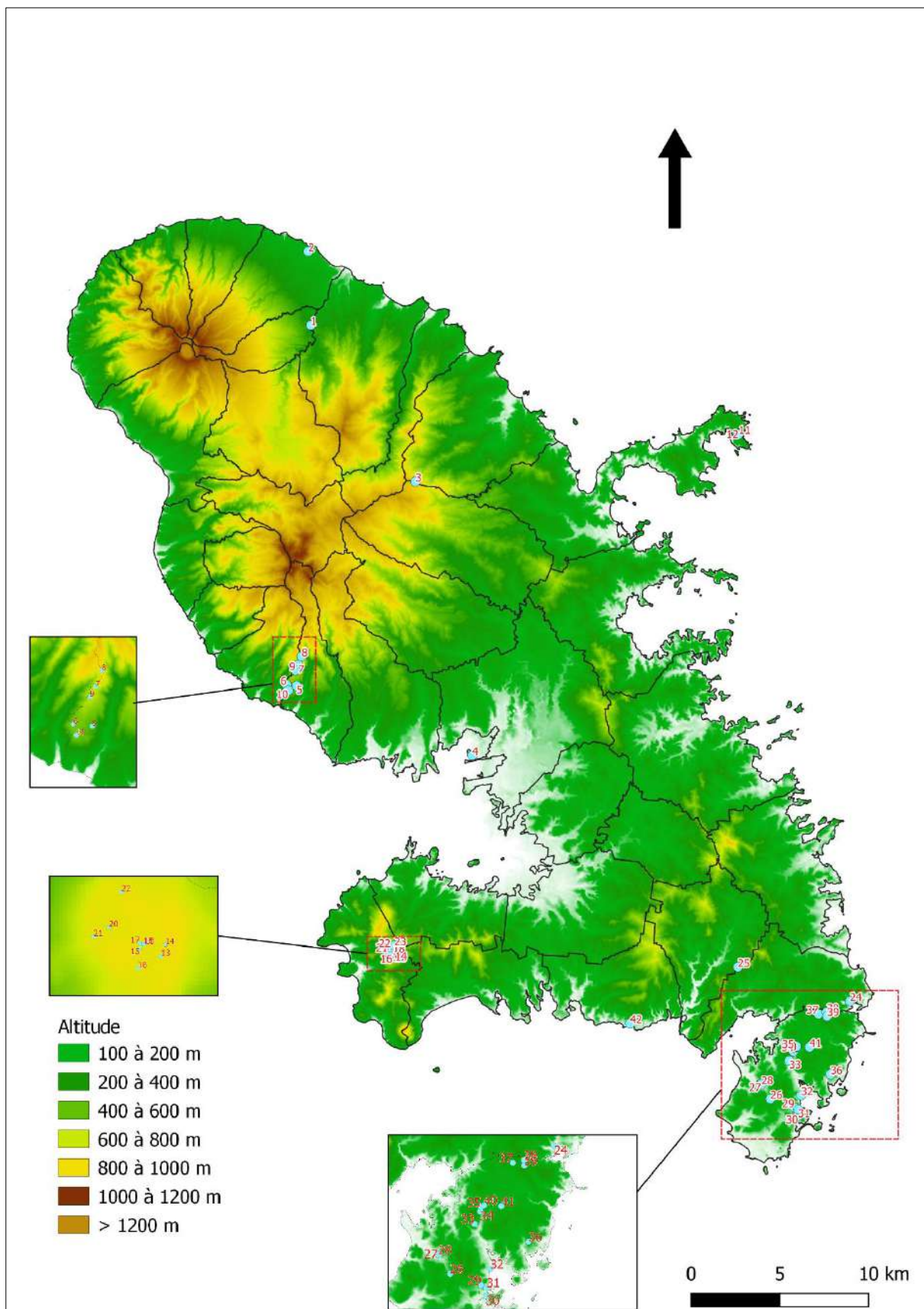


Figure 32 : Carte Mares et relief réalisée par Peguy Major, 2022

3.3 Les systèmes édaphiques (les sols)

3.3.1 Types des sols

Le sol est un écosystème dynamique (Gobat *et al*, 2010). Il se forme sous l'action du climat, des micro-organismes, des végétaux et de l'érosion. La topographie, le climat, le matériau et les facteurs biologiques jouent un rôle considérable dans la formation et la différenciation des sols (Aubert et Boulaine, 1980). La distribution spatiale des sols est assez variée. En effet, la classification de Colmet Daage en 1969 montre les différents types de sols en Martinique (Tableau 11). La répartition géographique des sols du Nord au Sud se présente comme suit :

- au Nord, le sol est constitué de matériaux volcaniques récents, exposé à un climat humide à très humide dont la pluviométrie annuelle est supérieure à 2500 mm, dérivant d'un relief accentué ;
- au Sud, le sol est constitué de matériaux anciens présentant un climat moins humide dont la pluviométrie annuelle est inférieure à 2.000 mm résultant d'un relief modéré.

Le type des sols rencontrés est fortement lié à la géologie. Sur la base de la carte des sols de la Martinique à l'échelle de 1/20 000, nous décrirons les sols où sont localisées nos mares, objets de notre recherche (Figure 33) :

Sols brun rouillé à halloysite ou sols bruns tropicaux

Ils sont caractérisés par un profil A B C. Ils se situent en périphérie des reliefs où les précipitations sont faibles marqués par une saison sèche. Ils sont perméables et peu épais. Ils sont formés de projections graveleuses ou cendreuses (Ventakapen, 2012 ; Joseph, 2009 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Portecop, 1979). Nous les retrouvons précisément au Nord-Est des communes du Lorrain à Sainte-Marie et au Nord-Ouest des communes de Saint-Pierre, Morne-Vert et Saint-Joseph.

– Sols à allophane (andosols)

Nous distinguons deux ensembles :

Les sols avec gibbsite sur tuf fins anciens. Ils se situent sur les mornes depuis Vert-Pré, jusqu'au Gros-Morne ainsi qu'au Nord-Est de Saint-Joseph.

Les sols sans gibbsite sur cendres et ponces plus récentes. Ils se localisent au Nord, longeant le littoral de quelques kilomètres jusqu'aux environs de Grand- Rivière, intégrant les Pitons du Carbet et le Morne Jacob. Le relief est irrégulier, aux fortes pentes des anciens volcans

s'enchaînent de longs versants en faible pente, découpés par de profondes ravines (Ventakapen, 2012 ; Joseph, 2009 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Portecop, 1979).

Sols peu évolués sur cendres

Ce sont des sols jeunes, riches en éléments grossiers (cendres ou ponces), et se localisent sur les pentes des montagnes du Nord et des régions sèches. Les précipitations sont assez faibles : 1000 à 1300 mm (Ventakapen, 2012 ; Joseph, 2009 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Portecop, 1979).

Sols fersiallitiques fortement montmorillonitiques

Nous repérons ces sols du Robert à Sainte-Luce, entre le Saint-Esprit et le François, comme à Ducos et dans la presqu'île de la Caravelle. Ils se situent dans une zone intermédiaire entre les sols vertisols et ferrisols (Portecop, 1979 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Joseph, 2009 ; Ventakapen, 2012).

Les vertisols

Ce sont des sols dérivés de formations anciennes. Ils se situent presque tous dans les régions plutôt sèches des Antilles, où l'insuffisance en eau est assez importante. Ils se forment sur des collines et au pied de mornes. Ces sols sont localisés au Sud de la Martinique : toute la Presqu'île du Diamant, des Trois-îlets jusqu'à Sainte-Luce et toute la partie Sud-Est : de Sainte-Luce jusqu'au Nord du François (Ventakapen, 2012 ; Joseph, 2009 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Portecop, 1979).

Les alluvions

Ils sont localisés dans les fonds de vallée sur des superficies très petites. Le seul espace où ils se développent largement est la plaine du Lamentin. Ils sont issus des alluvions continentales régulièrement inondables, et surtout localisées au niveau de la plaine du Lamentin (Ventakapen, 2012 ; Joseph, 2009 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Portecop, 1979).

En somme, la Martinique présente une forte diversité pédologique, qui représente environ 30% des sols tropicaux. Cette diversité provient de la variation des roches mères (volcanique, calcaire, alluvions marines), de la pluviosité, de la durée de la pédogenèse et de la nature du dépôt (Sierra, 2020).

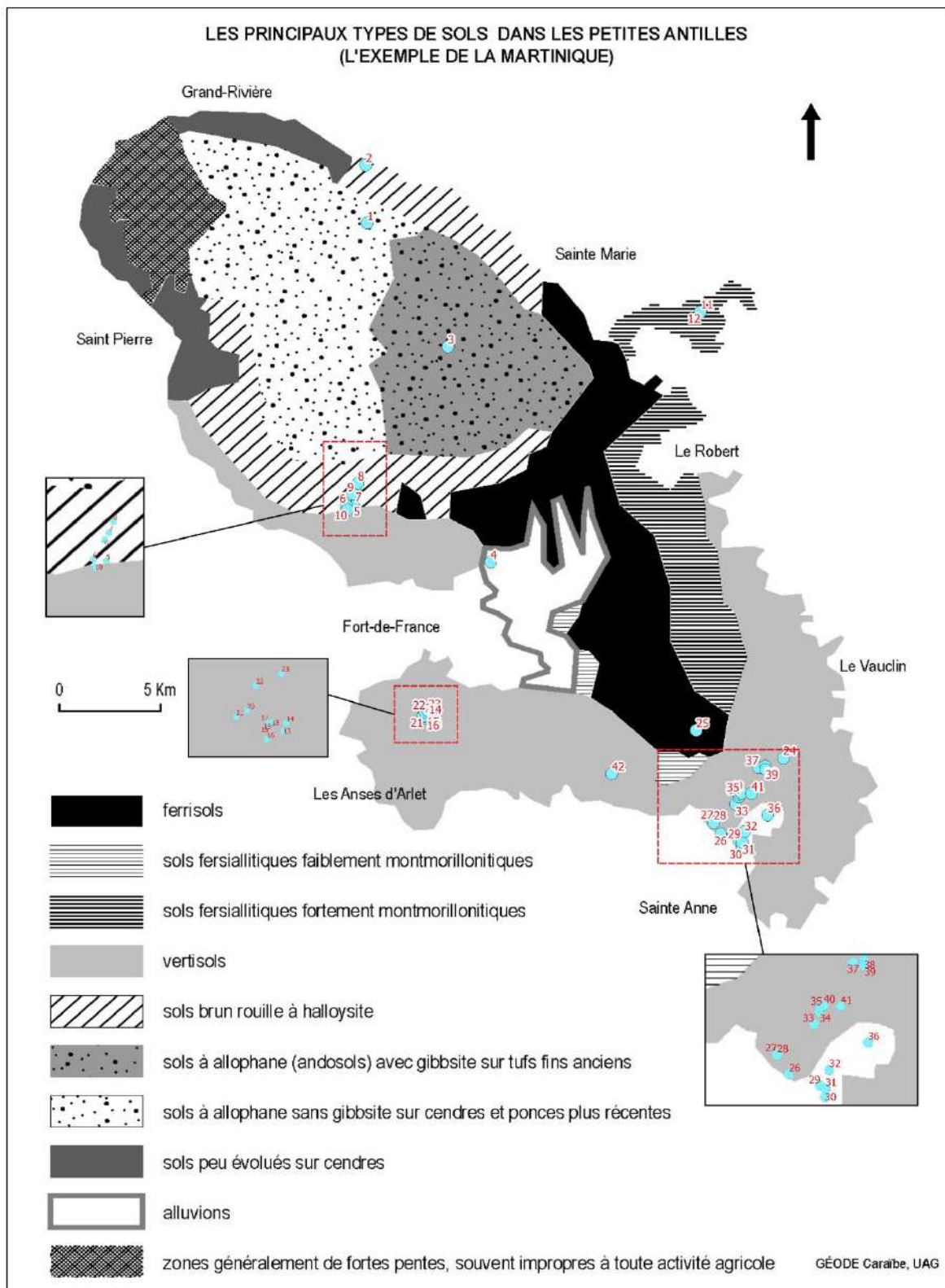


Figure 33 : Carte des types de sol de la Martinique adapté par Peguy Major pour la répartition des mares

(Source : <http://www1.univ-ag.fr/aihp-geode/ea929/images/cartes/carte147nb.jpg>. Consulté le 22/04/2022)

Tableau 11 : Principales formations géologiques en Martinique

| | Ensembles pédologiques | Hydrologie | Climat | Pluviométrie |
|---------------------------------------|--|---------------------------|--------|--------------|
| Sols dérivés des formations | Sols brun rouillé à halloysite | Forte rétention de l'eau | Humide | 1300-2500 mm |
| | Sols à allophane (andosols) avec et sans gibbsite | Forte rétention de l'eau | Humide | > 2500 mm |
| | Sols peu évolués sur cendres | Faible rétention de l'eau | Sec | 1000-1300 mm |
| Sols dérivés des formations anciennes | Ferrisols | Forte rétention de l'eau | Humide | 1500-3000 mm |
| | Sols fersiallitiques faiblement montmorillonitique | Forte rétention de l'eau | Humide | 1800-2000 mm |
| | Sols fersiallitiques fortement montmorillonitique | Forte rétention de l'eau | Humide | 1800-2000 mm |
| | Vertisols | Faible rétention de l'eau | Sec | < 1300 mm |

3.3.2 Texture des sols des mares

Au centre de la Martinique, les *ferrisols* sont formés à partir de tufs andési-labradoritiques ou dacitiques. L'argile est composée majoritairement de kaolinite (40 à 50 %) ou d'un mélange kaolinite-métahalloysite.

Ces sols compacts, profonds et plus ou moins perméables permettent la présence de quelques mares sur des zones argileuses (Portecop, 1979 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Joseph, 2009 ; Ventakapen, 2012).

À l'Est des ferrisols, les *sols fersiallitiques*, faiblement et fortement, montmorillonitiques formés à partir de roches-mères andési-labradoritiques, sont composés d'argiles montmorillonites. Ils ont une grande capacité d'échange et une bonne rétention en eau. La texture argileuse est favorable à la présence de mares (Portecop, 1979 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Joseph, 2009 ; Ventakapen, 2012).

Au Sud, Sud-Ouest et Sud-Est, les *vertisols* sont formés de matériau de coulées, de brèches ou surtout de tufs, andésitiques, labradoritiques ou dacitiques. Ces sols sont très argileux. Ce sont des argiles de type smectite dont l'essentiel est de type montmorillonite.

Celui-ci lui donne un aspect humide, plastique et adhérent. Il a une grande capacité de gonflement et de rétention en eau. Ses argiles forment des couches imperméables propices aux mares (Portecop, 1979 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Joseph, 2009 ; Ventakapen, 2012).

Au Nord-Est et au Centre Ouest, les *sols bruns rouillés à halloysite* sont issus de roches andésitiques ou dacitiques perméables. L'argile correspond à de l'halloysite. Dans ces sols, le minéral argileux est de type métahalloysite.

La perméabilité des zones sableuses au nord ne favorise pas la rétention de l'eau (Portecop, 1979 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Joseph, 2009 ; Ventakapen, 2012).

Les sols à *allophane* (andosols) se développent sur des tufs dont la particularité est de donner un sol très perméable. Ils se situent au Nord-Ouest, sur les hautes altitudes où la présence de l'humidité demeure. Ces sols sont caractérisés par un taux important d'allophane (20 à 80 %).

Les allophanes apportent au sol une texture particulière de pseudo-limon. Nous pouvons aussi constater l'apparition ou non de gibbsite en quantité variable (Portecop, 1979 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Joseph, 2009 ; Ventakapen, 2012).

Les sols *peu évolués sur cendres* sont des sols jeunes et riches en éléments grossiers (cendres ou ponces). Les sols sont sableux, particuliers, très érodables. Teneur en argile faible (5-15 %), fraction sableuse importante (80-90 %), très érodable. Ses sols sont relativement acides au Nord-ouest et nord-est (Portecop, 1979 ; Cocu, 1999 ; Sels, 1999 ; Joseph, 2009 ; Ventakapen, 2012).

Il existe donc une correspondance forte entre la perméabilité de la roche sur un territoire et la présence de mares, même si leur création est anthropique. Elles sont localisées majoritairement sur les sols argileux.

Pour terminer, les mares se situent à la fois sur des sols argileux, sablonneux et limoneux. La texture des sols dérivés des formations aériennes et anciennes sont constitués des minéraux argileux. Ils se différencient en fonction de la nature de l'argile minéralogique. Le Sud de la Martinique est surtout de texture argileuse.

Il correspond à des sols évolués de volcanisme ancien. Les sols peu évolués de volcanisme récent du nord de l'île sont de textures limoneuses à sableuses. La présence de nombreuses mares et la forte densité du réseau hydrographique sont liées à la nature argileuse du substratum (Figure 34).

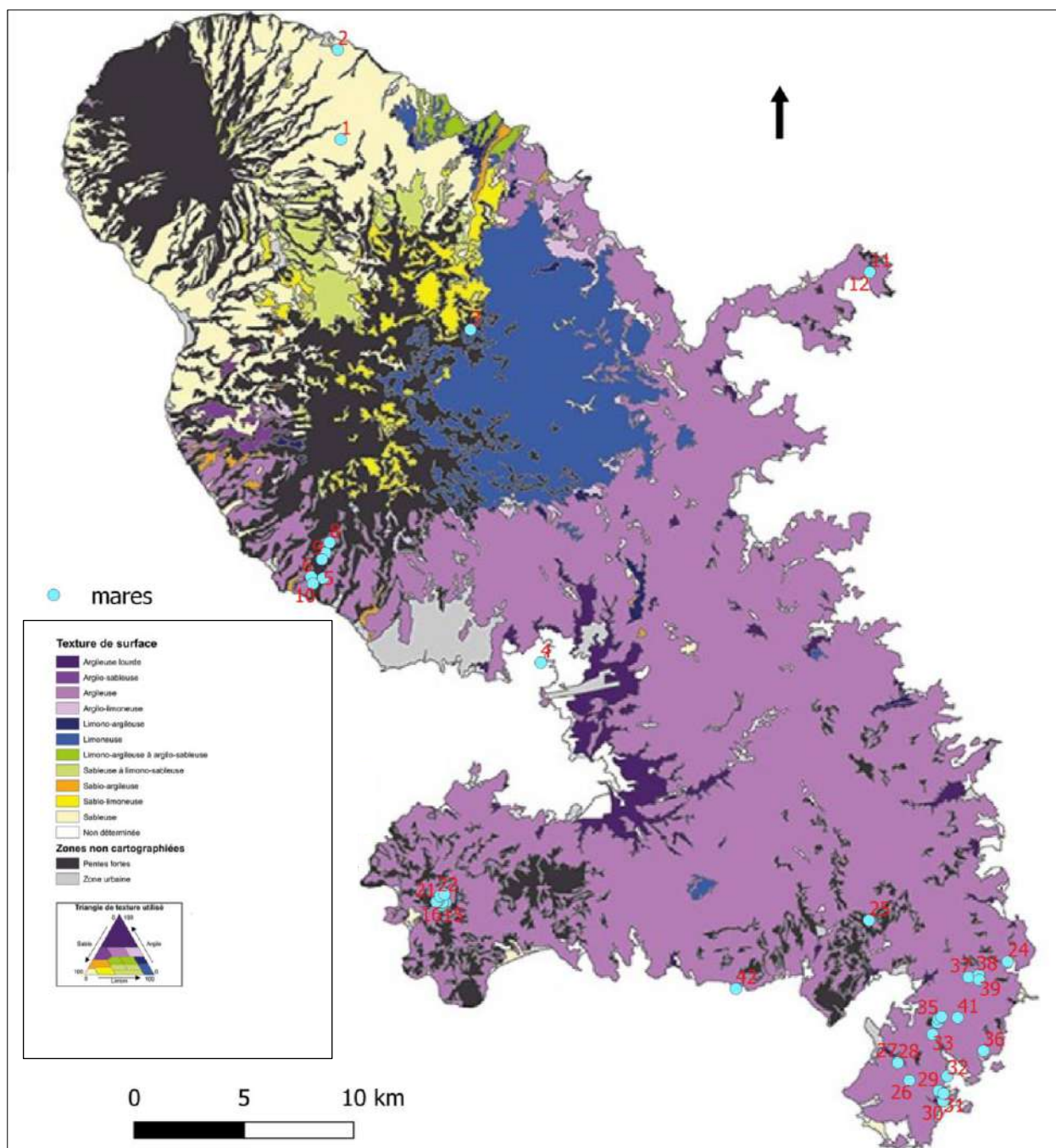


Figure 34 : Carte de la répartition des mares selon la texture des sols adaptée de Major in Gissol

(Source : <https://www.gissol.fr/donnees/cartes/les-textures-des-horizons-superieurs-du-sol-a-la-martinique-2302>. Consulté le 22.04.2020)

3.4 Les facteurs climatiques

La Martinique est caractérisée par un climat tropical chaud et humide. À cause du relief, le climat varie en fonction de l'orientation du vent et de la pluviométrie.

– *La Côte au Vent*

Sur le versant au Vent, la montagne fait obstacle aux masses d'air poussée par le vent. L'Est de la Martinique supporte l'influence des Alizés¹³ : ce sont des vents dominants, réguliers, humides et plutôt frais. L'Est de la Martinique supporte l'influence des Alizés.

– *La Côte sous le Vent*

Au contraire, la région sous le Vent est abritée. L'air redescend et se réchauffe, les nuages s'effilochent et disparaissent. La Côte sous le Vent est sèche par rapport à la côte au Vent. C'est l'Ouest de l'île qui profite de la protection offerte par les hauts reliefs martiniquais.

C'est la raison pour laquelle, cet espace insulaire englobe les bioclimats secs, moyennement humide avec des précipitations moyennes annuelles inférieures à 1500 mm et supérieures à 4000 mm (Figure 35) avec une température annuelle de 26 °C.

La gamme d'altitude intéressée par cette étude varie de 5 à 495 m (Major et Claude, 2017). Sur la carte des précipitations annuelles en 2021, nous constatons deux divisions, une Martinique humide au Nord qui reçoit plus de 2000 mm et une Martinique sèche au Sud, qui reçoit moins de 1500 mm par an (Figure 36).

La Nord appartient à un relief très accidenté, influencé par une pluie très importante. Ainsi, la Martinique, humide au Nord d'une ligne Fort de France-Le Robert, recueille plus de 1 750 mm de pluie annuellement, voire plus de 6 000 mm par an pour les Pitons du Carbet et pour la Montagne Pelée.

Le Sud est faiblement arrosé : le Nord de Fort de France, la partie méridionale de l'île et le sud de la ligne Le Lamentin-Le Robert recueillent moins de 1 500 mm de pluie par an. La sécheresse est surtout grande sur la côte sud de l'île, en raison de la faiblesse des reliefs. Les mornes n'arrêtent pas les nuages. Le Sud manque de l'eau. Ce qui peut expliquer la création du nombre important de mares dans le Sud. La pluviosité est plus importante au Nord que dans le Sud (Figures 36 et 37).

¹³ Vent régulier soufflant toute l'année de l'est, sur la partie orientale du Pacifique et de l'Atlantique comprise entre les parallèles 30° N. et 30° S

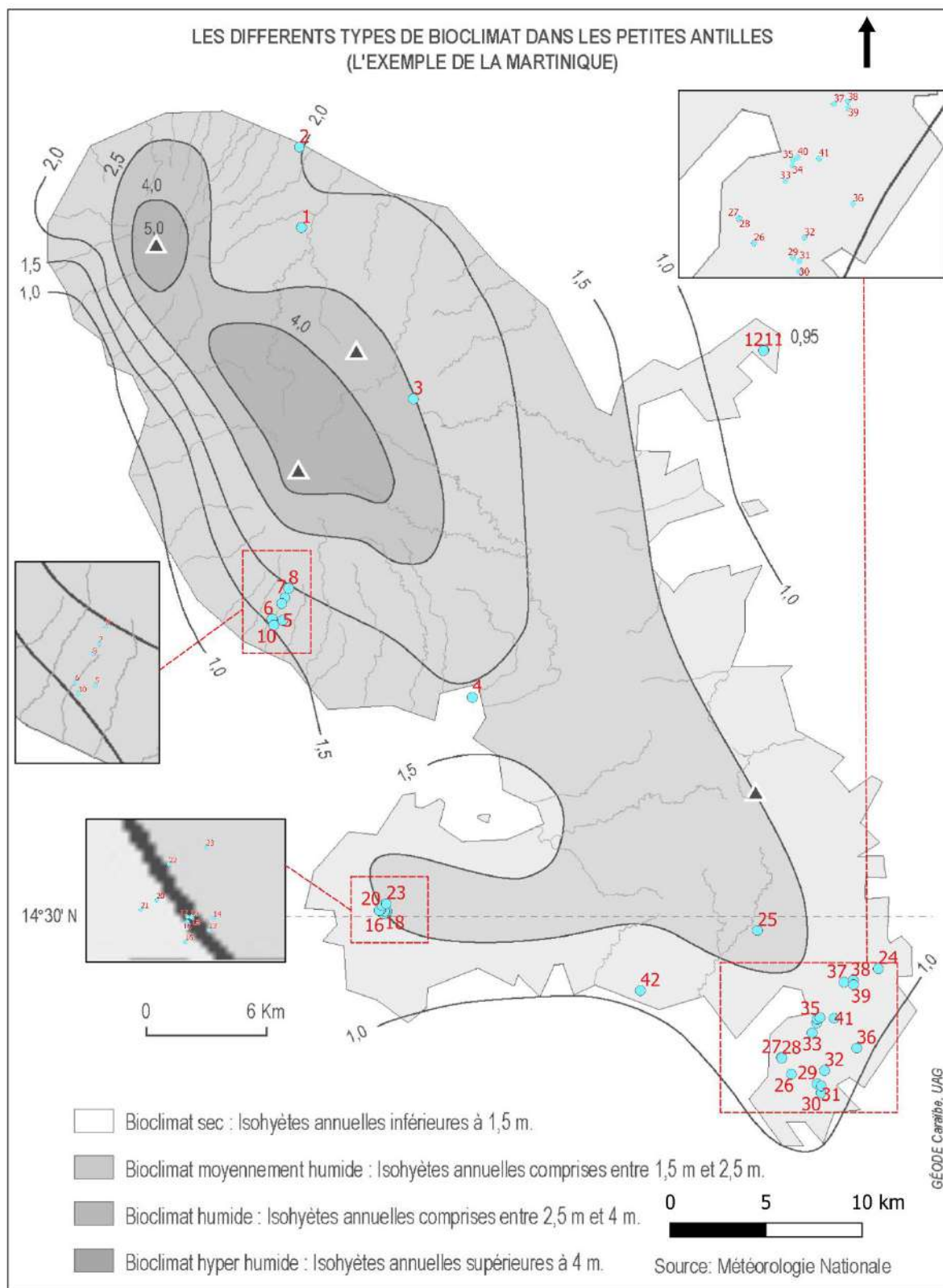


Figure 35 : Répartition des mares dans les différents types de bioclimat de la Martinique (adaptée de Major, in Joseph, 2009, p.45)

(Source : <http://www1.univ-ag.fr/aihp-geode/ea929/images/cartes/carte146.jpg>. Consulté le 22/04/2022)

En somme, l'île connaît une pluviométrie très variable et parfois instable dans le temps. En outre, les précipitations frontales procurent un appoint de pluie souvent désastreux.

Nous observons que la répartition des précipitations orographiques, dans l'année, se divisent en deux saisons : une saison sèche appelée carême et une saison des pluies appelée hivernage. La saison pluvieuse s'étale sur cinq mois, de juillet à Octobre et la saison sèche plus courte de février à avril.

En ce qui concerne, la température, constitue un indicateur global du climat martiniquais. Cette constance est la cause des courants marins exceptionnellement chauds, et aux vents réguliers. Celle-ci rend la température semblable à celle des climats équatoriaux (Cocu, 1999).

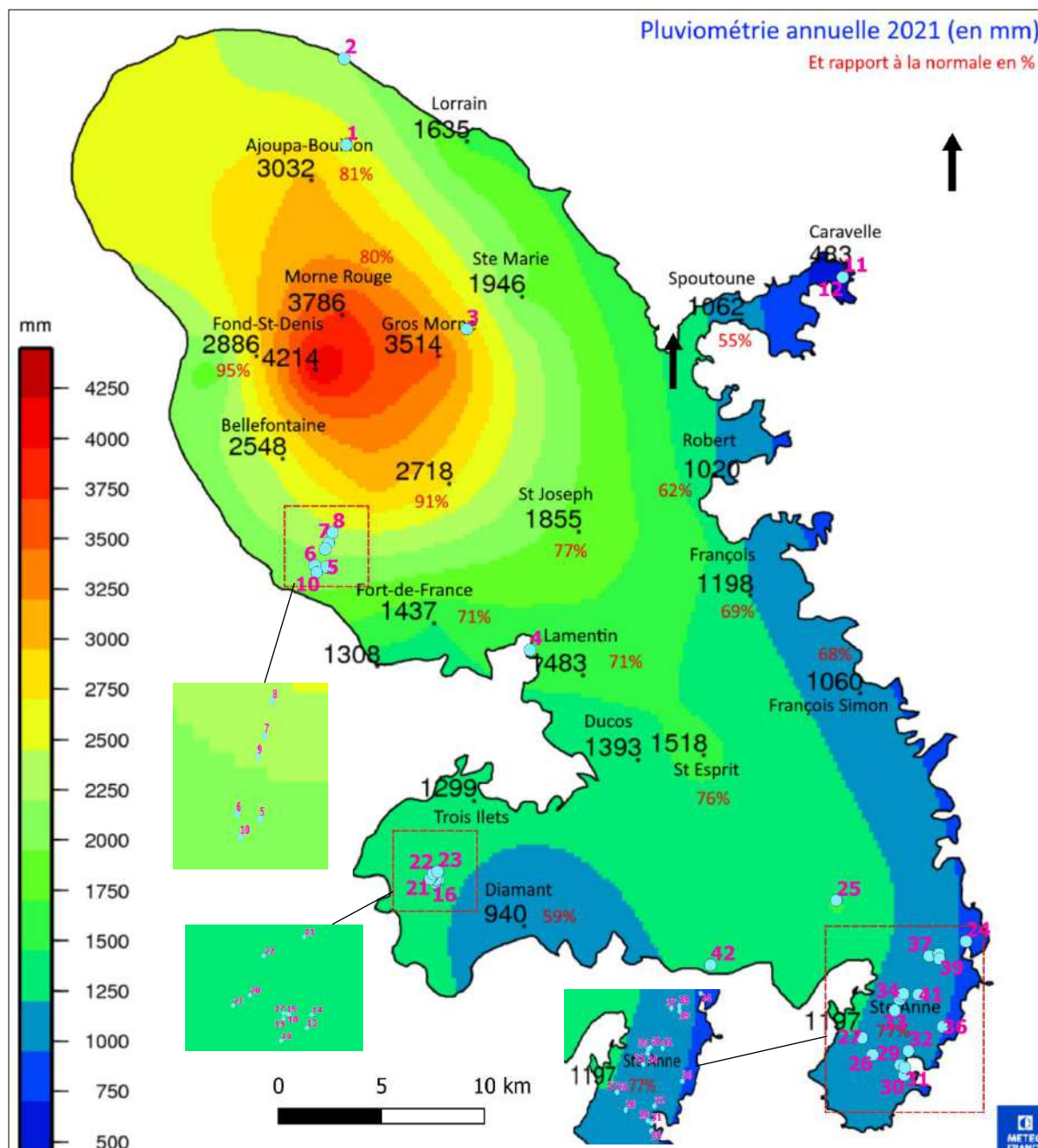


Figure 36 : Carte des précipitations annuelles en 2021 (adaptée de Major in Météo France.mq)

(Source : <https://meteofrance.mq/fr/climat/bulletin-climatique-annuel-2021>. Consulté le 22/04/2022)

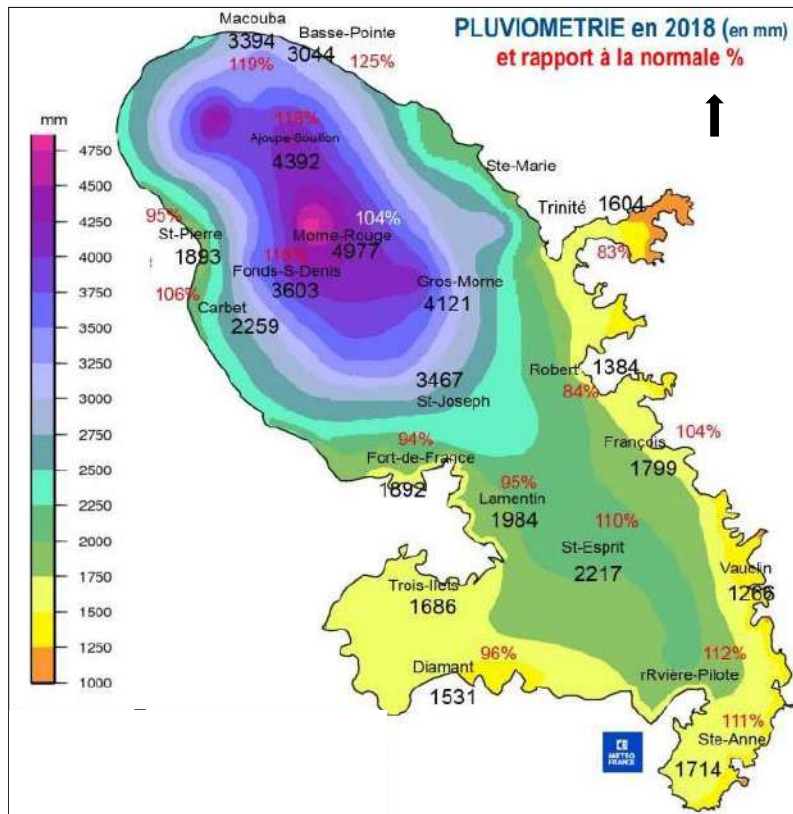


Figure 37 : Carte de la pluviométrie annuelle en 2018 (données Météo France)

(Source : https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/bulletins/BCA/BCA_972_2018.pdf. Consulté le 22/04/2022)

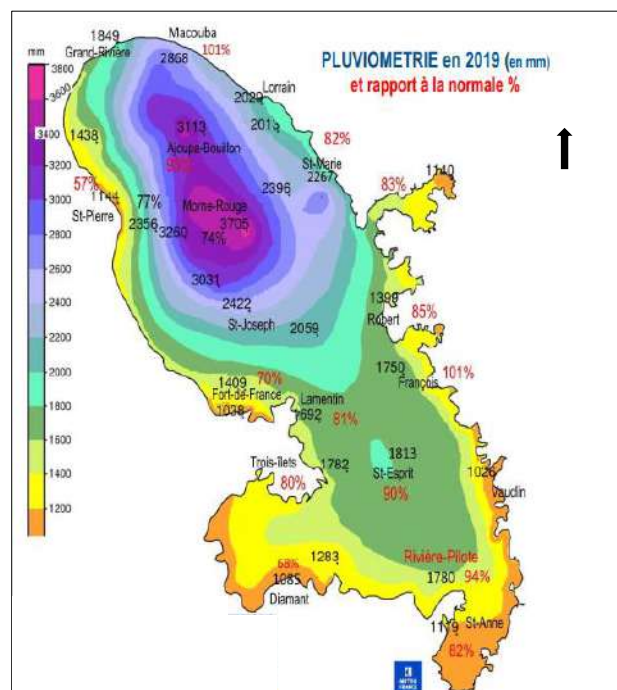


Figure 38 : Carte de la pluviométrie annuelle en 2019 (données Météo France)

(Source : https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/bulletins/BCA/BCA_972_2019.pdf. Consulté le 22/04/2022)

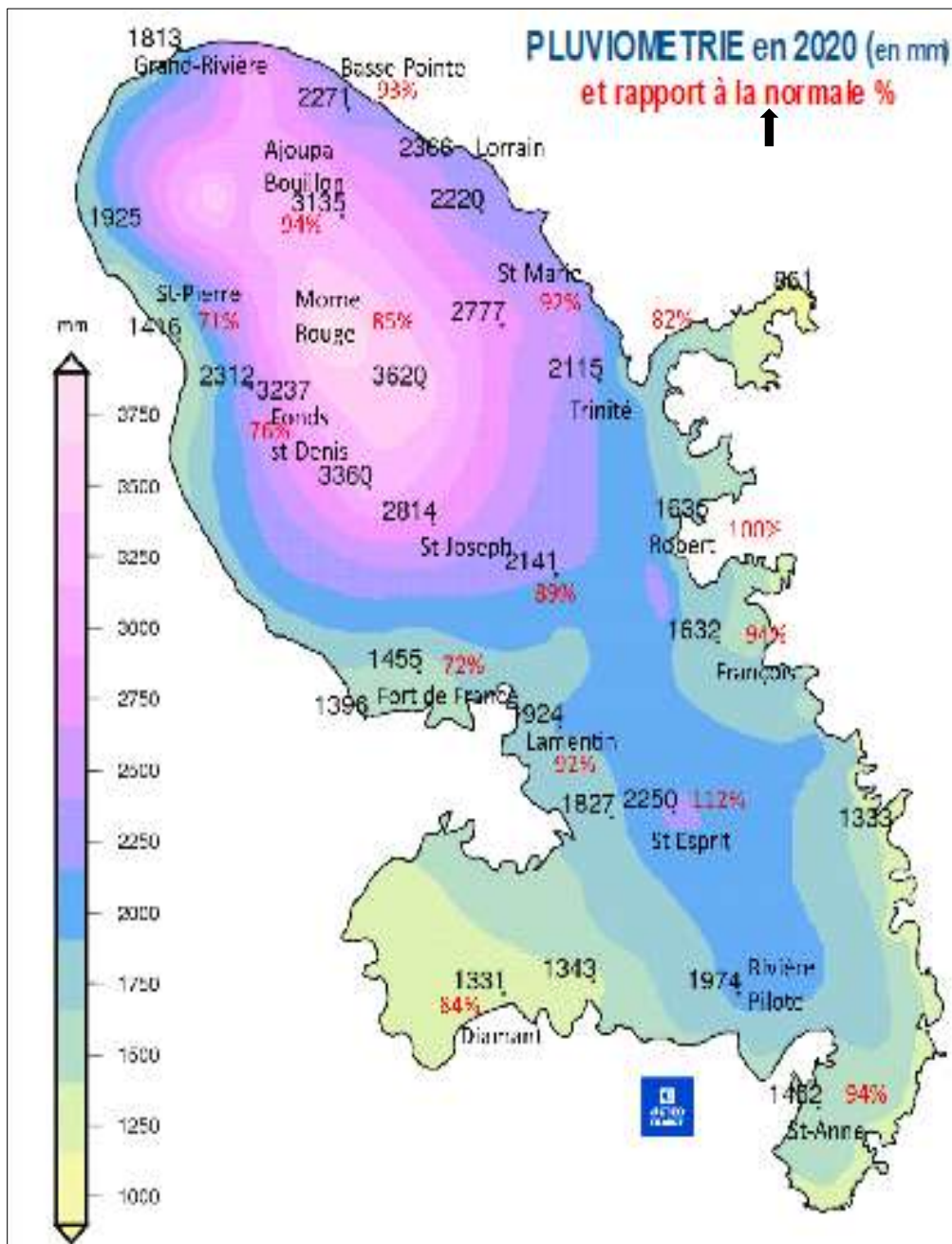


Figure 39 : Carte de la pluviométrie annuelle en 2020 (données Météo France)

(Source : <https://meteofrance.mq/fr/climat/bulletin-climatique-annuel-2020>. Consulté le 22/04/2022)

Selon Météo France, le régime pluviométrique est abondant pour l'année 2018 (Figure 37), sauf en 2019 et 2020 (Figure 38 et 39). Elles connaissent un régime plutôt déficitaire surtout sur dans le Nord caraïbe (Figure 39).

3.5 Le réseau hydrographique

Les contrastes du relief et la variété des climats de cet espace insulaire définissent distinctement le réseau hydrographique de la Martinique (Bernadet, 2013).

Ce dernier est partagé par une courbe passant par la vallée de la Lézarde et remontant ensuite vers l'Atlantique jusqu'au havre du Robert (Figure 40) :

Au Nord, le réseau hydrographique est dense (Cocu, 1999). Les bassins versants sont de taille réduite en surface le plus souvent inférieurs à 15 km² (Bardinet, 2013). Le débit des cours d'eau est fort où la pluviométrie est abondante. Les cours d'eau ont aussi un régime torrentiel en raison d'un relief montagneux et du régime des précipitations (Figure 40).

Les bassins versant sont très réduits en surface. La rivière Lézarde présente le plus grand bassin versant (116 km²) et le plus long linéaire de cours d'eau (35,8 km).

Au Sud, le réseau hydrographique est moins important qu'au Nord. Il est constitué de petites rivières (longueur inférieure à 30 km). Néanmoins, leur réseau est bien organisé. Les rivières se localisent sur de forte pente dans les mornes. Le lit inférieur s'étend en méandres dans les petites plaines alluviales où les cours d'eau affluent (Figure 40).

Les cours d'eau sont très courts et sont plus nombreux au Nord, tandis qu'il y a en a très peu au Sud de l'île. Les sols imperméables favorisent le ruissellement. Les communes très favorisées ont le plus grand nombre de rivières par un réseau hydrographique dense.

Les communes montagneuses qui sont aussi plus arrosées sont des centres de dispersion des cours d'eau. Par exemple, la Montagne Pelée et les Pitons du Carbet. Tous les cours d'eau sont des torrents de montagne en amont. Leur pente est forte, et les eaux descendent des cascades.

En arrivant dans les plaines, la pente s'adoucit, la vitesse de l'eau diminue, la vallée s'élargit. Grossies par de nombreux affluents, les rivières dessinent des méandres avant d'atteindre la mer. Elle se jettent dans celle-ci, par de petits estuaires : par exemple la Rivière-Pilote. L'embouchure est souvent encombrée d'alluvions, qui ne sont entraînées ni par la force des marées, ni par le courant de la rivière. Il se forme alors des marigots et des deltas. Le débit des cours d'eau varie au cours de l'année. En effet, il est plus abondant pendant l'hivernage, à cause des précipitations, il diminue pendant le carême et peut même être nul : le torrent est alors sec.

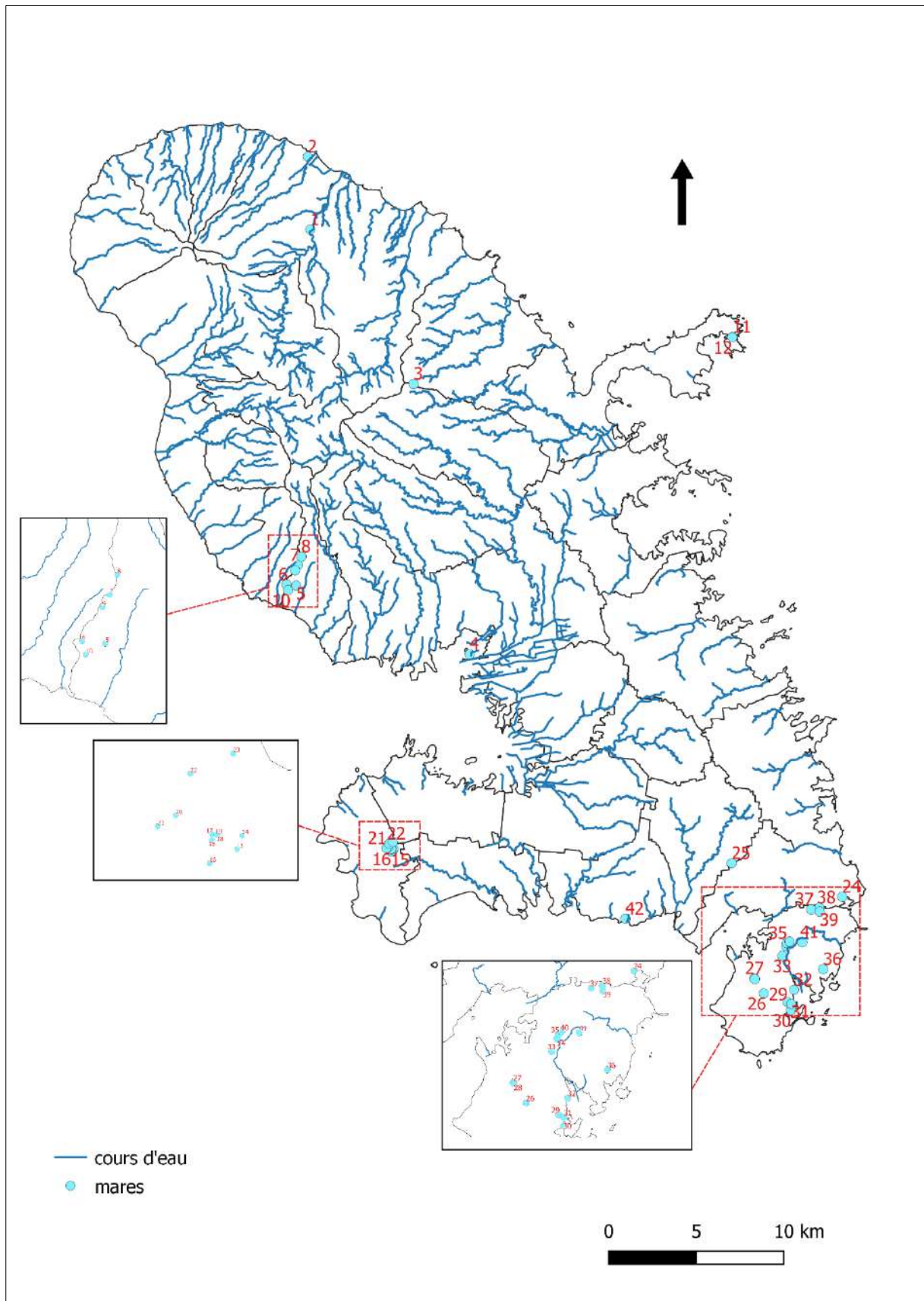


Figure 40 : Carte de la répartition des mares selon le réseau hydrographique de la Martinique

(Réalisation : Peguy Major ©, 2022)

3.6 Étude des mares anthropisées en milieu insulaire

3.6.1 Situation géographique et présentation générale des mares anthropisées de la Martinique

Sur une période de 3 ans (2018-2021), nous avons localisé sur le terrain quarante-deux mares (Figure 41). Dans le cadre de notre recherche, cinq communes du Nord au Sud ont été prospectées pour l'exploration scientifique de dix mares (Figure 42). Le choix de ces mares s'est basé avant tout sur l'accessibilité, la sécurité et la situation géographique.

Selon leur situation géographique, nous avons trouvé deux types de mares au Nord comme au Sud : la mare savane et la mare forestière. Ce sont des mares de tailles moyennes avec des surfaces approximatives entre 20 m² et 900 m² (Tableau 12 et 13). La composition des sols et de la végétation alentour, la présence ou non d'activités agricoles dans le voisinage par exemple influencent fortement la composition de l'eau des mares. Leur dominante texturale est sableuse pour la mare n° 2 et nettement plus argileuse pour les mares n^{os} 5, 6, 7, 8, 13, 14, 34, 35 et 42. De plus, les mares qui suivent leur évolution naturelle finissent par être comblées (c'est le *processus d'atterrissement*).

Entre la formation d'une mare et son atterrissement, elle montre une succession écologique au cours de laquelle, de nombreux paramètres évoluent, des différences de température, de PH et de conductivité peuvent apparaître entre la surface et le fond, les variations de niveau d'eau augmentent, et la végétation change. Ces mares anthropiques sont situées dans les plaines et les *mornes* (appellation des collines aux Antilles), dispersées dans les savanes, cachées dans les forêts ou alignées le long des routes, les mares, constituent des biotopes aquatiques essentiels dans ce territoire insulaire.

Et sont caractérisées par la présence permanente ou temporaire, à très faible profondeur, d'eau douce par la prépondérance d'une phytocénose hygrophile et par l'existence d'un sol hydromorphe. Face à l'anthropisation, ces habitats d'eau douce sont en constante diminution, et sont aujourd'hui menacés et ou dégradés. Les informations associées à chaque mare ont été renseignées dans une fiche (Annexe 1).

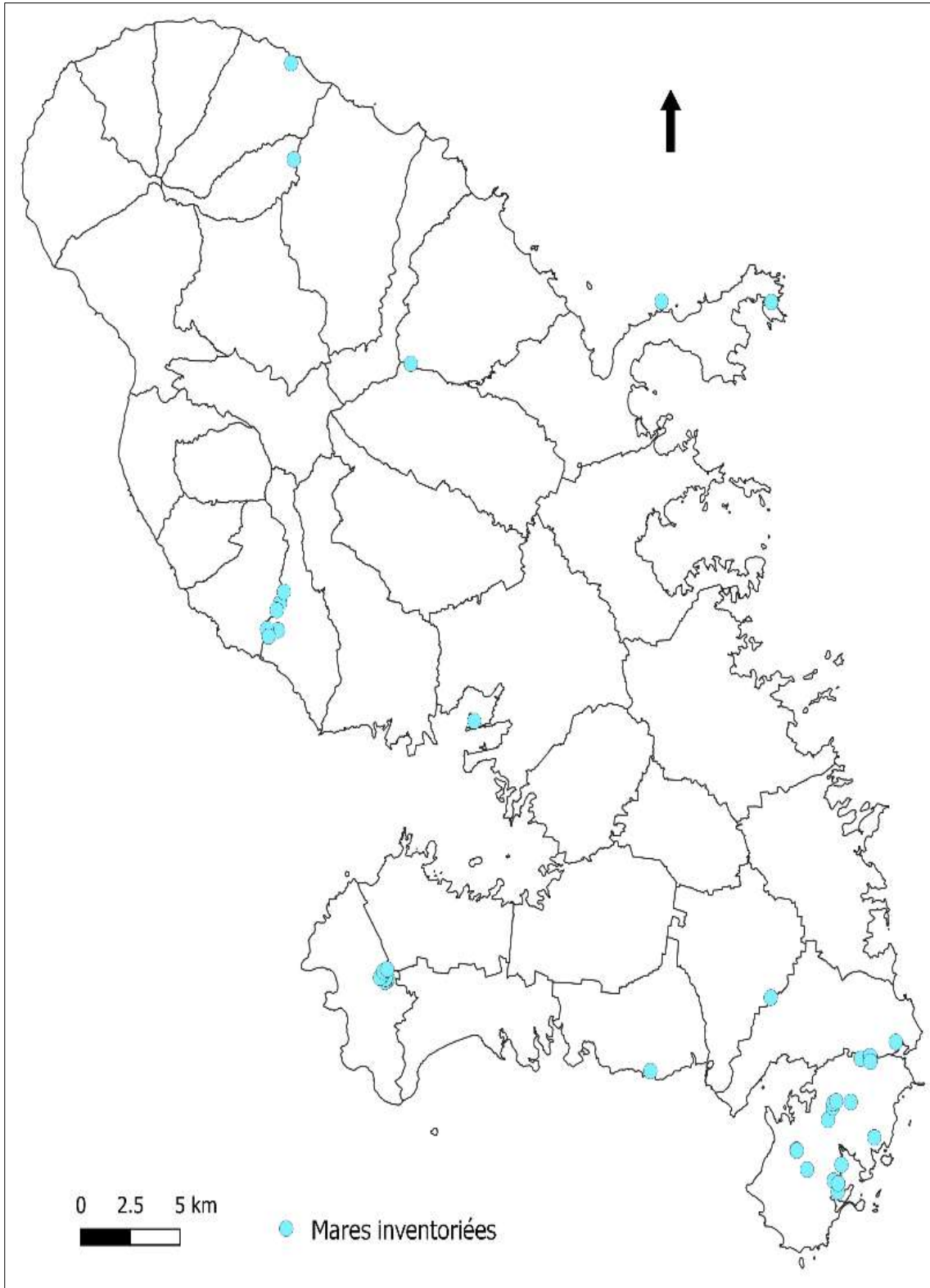


Figure 41 : Carte des mares inventoriées

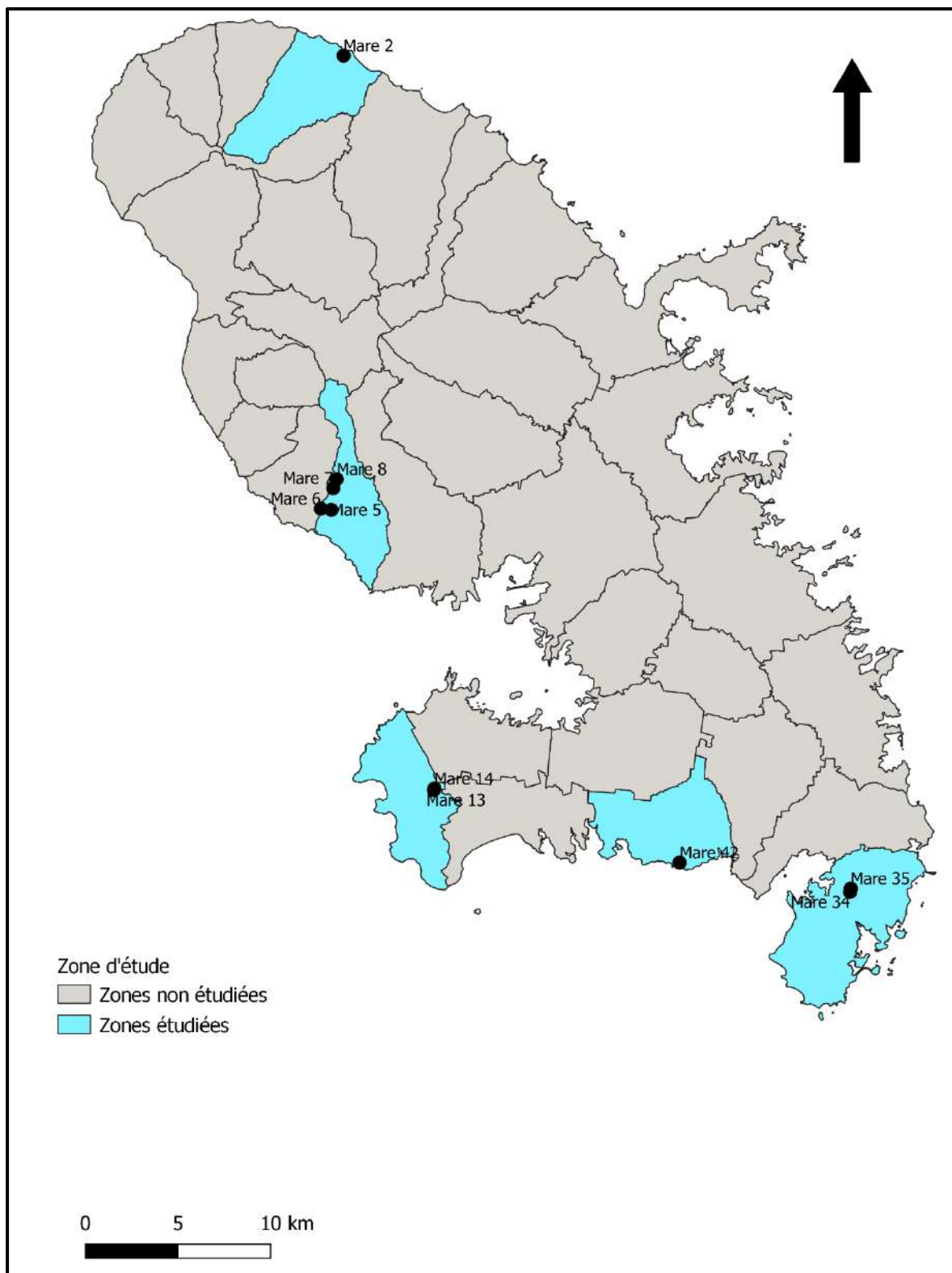


Figure 42 : Situation géographique et emplacement des mares étudiées

(Réalisation : Peguy Major, 2022)

Tableau 12 : Les mares du Nord

| <i>Mare</i> | <i>Commune</i> | <i>Lieu-dit</i> | <i>Altitude</i> | <i>Type de mare</i> | <i>Superficie m²</i> | <i>Végétation aquatique</i> | <i>Observation</i> |
|-------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 1 | Ajoupa-Bouillon | Carrière | 105 | Forestière | NP | Oui | — |
| 2 | Basse-Pointe | Moulin l'Etang | 40 | Savane | 897 | Oui | — |
| 3 | Gros-Morne | Deux-Choux | 495 | Forestière | NP | Non | Atterrissement |
| 4 | Le Lamentin | MorneCabri | 9 | Forestière | 25,53 | Oui | — |
| 5 | Schœlcher | Route de la Démarche | 221 | Savane | 149,79 | Oui | — |
| 6 | Schœlcher | Rue des Cocotiers | 255 | Savane | 844,93 | Oui | — |
| 7 | Schœlcher | Rue des maraîchers | 351 | Savane | NP | Non | — |
| 8 | Schœlcher | Rue des maraîchers | 416 | Forestière | 140,75 | Oui | — |
| 9 | Schœlcher | Chemin pois doux | 346 | Savane | 186,09 | Oui | — |
| 10 | Schœlcher | Impasse des Goyaviers | 339 | Savane | 239,60 | Oui | Atterrissement |
| 11 | Trinité | La Caravelle | 47 | Savane | NP | Oui | Atterrissement |
| 12 | Trinité | La Caravelle | 47 | Savane | NP | — | Atterrissement |

Tableau 13 : Les mares du Sud

| <i>Mare</i> | <i>Commune</i> | <i>Lieu-dit</i> | <i>Altitude</i> | <i>Type de mare</i> | <i>Superficie</i> | <i>Végétation aquatique</i> | <i>Observations</i> |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|
| 13 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 392 | Savane | 23,59 | Oui | - |
| 14 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 390 | Savane | 185,14 | Oui | - |
| 15 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 388 | Forestière | NP | Non | - |
| 16 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 382 | Forestière | NP | Oui | - |
| 17 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 389 | Forestière | NP | Oui | - |
| 18 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 387 | Forestière | 2,92 | Non | - |
| 19 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 387 | Forestière | 7,14 | Non | - |
| 20 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 384 | Forestière | NP | Oui | - |
| 21 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 379 | Forestière | 7,46 | Non | - |
| 22 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 386 | Forestière | NP | Oui | - |
| 23 | Anses d'Arlet | Morne la Plaine | 379 | Savane | NP | Oui | - |
| 24 | Le Marin | Cap Macré | 5 | Savane | 99,406 | Oui | - |
| 25 | Le Marin | Capron | 109 | Savane | NP | — | Atterrissement |
| 26 | Sainte-Anne | Malgré Tout | 29 | Forestière | 2830 | Oui | - |
| 27 | Sainte-Anne | Val d'Or | 18 | Savane | NP | Non | - |
| 28 | Sainte-Anne | Val d'Or | 21 | Savane | NP | Non | - |

| | | | | | | | |
|----|-------------|------------------|-----|------------|--------|-----|---|
| 29 | Sainte-Anne | Baie des Anglais | 21 | Savane | NP | Oui | - |
| 30 | Sainte-Anne | Baie des Anglais | 10 | Savane | NP | Non | - |
| 31 | Sainte-Anne | Baie des Anglais | 7 | Savane | NP | Non | - |
| 32 | Sainte-Anne | Baie des Anglais | 10 | Savane | NP | Non | - |
| 33 | Sainte-Anne | Crève-Cœur | 26 | Savane | NP | Non | - |
| 34 | Sainte-Anne | Crève-Cœur | 42 | Forestière | NP | oui | - |
| 35 | Sainte-Anne | Crève-Cœur | 64 | Forestière | NP | oui | - |
| 36 | Sainte-Anne | Cap Chevalier | 32 | Savane | NP | Non | - |
| 37 | Sainte-Anne | Cap Ferré | 112 | Savane | NP | oui | - |
| 38 | Sainte-Anne | Cap Ferré | 133 | Savane | NP | oui | - |
| 39 | Sainte-Anne | Cap Ferré | 122 | Savane | NP | non | - |
| 40 | Sainte-Anne | Crève-Cœur | 46 | Savane | NP | oui | - |
| 41 | Sainte-Anne | Crève-Cœur | 53 | Savane | NP | oui | - |
| 42 | Sainte-Luce | Pont café | 8 | Savane | 909,21 | oui | - |

3.6.2 Les mares du Nord

Le cas de la mare n° 2



Figure 43 : Photo de la mare Moulin l'Etang à Basse-Pointe (Peguy Major©,2018)

La mare *Moulin l'Etang* est située à *Basse-Pointe* au Nord-Est de la Martinique et couvre une superficie d'environ 897 m². Au cours de la première moitié du 18^e siècle, elle mesurait environ 1600 m² (Figure 43). Le sol a une texture sableuse avec une faible proportion d'argile. La nature du terrain perméable a nécessité la création d'un déversoir connecté au réseau public, permettant l'évacuation des eaux de ruissellement qui rejoint la rivière Pocquet, à proximité immédiate d'une station de pompage dans le but de réaliser un transit efficace de l'eau. Elle présente une faible pente favorisant l'écoulement des eaux vers le biotope aquatique. Autrefois, elle était utilisée à des fins agricoles et domestiques. Elle avoisine des habitations et une zone agricole. Cet écosystème aquatique avait été abandonné en 2004, et a été restauré à des fins ornementales (Maddi et Brizard, 2010). Elle est colonisée par six espèces : *Cyperus papyrus* ; *Eichhornia crassipes* ; *Hydrilla verticillata* ; *Micranthemum umbrosum* ; *Nymphaea ampla* ; *Pistia stratiotes* (Major et Claude, 2021).

Les mares du quartier La démarche à Schœlcher

Ces quatre mares n° 5, 7, 8 et 10 sont localisées dans un quartier *la Démarche* de la commune de *Schœlcher* sur un *morne* dont l'altitude est comprise entre 200 et 400 mètres, avec une forte pente jouxtant une forêt structurée. Le sol a une texture à prédominance argileuse. L'activité principale fut l'agriculture ce qui peut expliquer la création de mares dans ce quartier. Ces mares sont alimentées principalement par des précipitations.

La mare n° 5



Figure 44 : Photo de la mare M5 à Schoelcher (Peguy Major©, 2018)



Figure 45 : Photo de la mare M5 à Schoelcher (Peguy Major©, 2020)

Cette petite mare d'une superficie de 149,79 m², est située au quartier La Démarche à Schoelcher au Nord-Ouest de la Martinique. Elle est entourée de quelques arbustes (Figure 45). En 2020, nous avons observé que la mare avait été entretenue (Figure 44). Pour favoriser l'entretien de la mare, le propriétaire a effectué la coupe des arbres. La texture du sol est argileuse. Il y a peu de végétation aquatique en surface. Seules deux espèces sont présentes : *Cyperus papyrus* et *Nymphaea ampla*. Cette mare servait d'abreuvoir pour les animaux et d'irrigation pour l'agriculture.

La mare n° 7



Figure 46 : Photo de la mare M7 à Schoelcher (Peguy Major©, 2021)



Figure 47 : Photo de la mare M7 à Schoelcher, (Peguy Major©, 2021)

Cette mare forestière (Figure 46) est peu profonde, de petite taille, et sans végétation. Elle se situe à proximité du chemin. A sa deuxième visite en Avril 2021, elle est complètement asséchée (Figure 47).



Figure 48 : Photo de la mare M8 à Schoelcher (Peguy Major©, 2019)



Figure 49 : Photo de la mare M8, (Peguy Major©, 2021)

Cette mare de savane, de forme ronde, a une superficie de 140,75 m². Lors de notre première prospection, elle était asséchée (Figure 48). Une espèce végétale aquatique est présente : *Nymphaea ampla* (Figure 49).

La mare n° 6



Figure 50 : Photo de la mare M6 à Schoelcher (Peguy Major©, 2018)



Figure 51 : Photo de la mare M6 à Schoelcher, (Peguy Major©, 2020)

Cette mare de savane (Figure 50), de forme ronde a une superficie de 844,93 m². En 2020, elle a fait l'objet d'un projet d'entretien et de restauration dans le cadre d'un chantier d'insertion (Figure 51). Trois espèces se rencontrent dans ce milieu humide : *Cyperus papyrus* ; *Nymphaea ampla* et *Micranthemum umbrosum*.

3.6.3 Les mares du Sud

Ces mares n° 13 et n° 14 sont situées à *Morne La Plaine* dans la commune des Anses-d'Arlet avec une altitude comprise entre 300 et 400 mètres, un climat à saison sèche prononcée avec une pluviométrie annuelle de 1250 mm. Elles sont à proximité du chemin. Elles sont alimentées uniquement par les pluies. Le sol a une texture très argileuse (Figure 52).

La mare n° 13



Figure 52 : Photo de la mare M13 aux Anses d'Arlet, (Peguy Major©, 2018)

Située à proximité du chemin, c'est une petite mare d'une superficie de 23,59 m² avec une faible profondeur et ayant la présence en surface d'une végétation aquatique : *Nymphaea ampla* (Figure 52).

La mare n° 14



Figure 53 : Photo de la mare M14 aux Anses d'Arlet, (Peguy Major©, 2018)

Située également à proximité du chemin, c'est une mare d'une superficie 185,14 m². Une seule espèce végétale aquatique en 2018 colonise ce biotope aquatique : *Nymphaea ampla* (Figure 53). Et en 2021, cette espèce disparaît au profit d'une autre espèce : *Lemna polyrhiza* (Figure 54).



Figure 54 : Photo de la mare M14 aux Anses d'Arlet, (Peguy Major©, 2021)

Ces deux mares forestières n° 34 et n° 35 se trouvent à Crève-Cœur dans la commune de Saint-Anne. Le sol a une texture argileuse (Figure 55 et 56).

La mare n° 34



Figure 55 : Photo de la mare M34 à Sainte-Anne, (Peguy Major©, 2020)

Cette mare se situe dans les ruines de l'Habitation Crève-Cœur, colonisée par des lentilles d'eau : *Lemna polyrhiza* (Figure 55).

La mare n° 35



Figure 56 : Photo de la mare M35 à Sainte-Anne (Peguy Major©, 2020)

C'est une mare à proximité du chemin. Elle est envahie par la *Lemna polyrhiza*.

La mare n° 42



Figure 57 : Photo de la mare M42 de Sainte-Luce, (Peguy Major©, 2021)

Cette mare se trouve à proximité de la route (Figure 57). Elle est encadrée par des maisons. Elle est colonisée par deux espèces végétales : *Salvinia molesta* et *Cyperus papyrus*.

3.7 La végétation aquatique dans les mares martiniquaises

Ces mares anthropiques sont colonisées par des plantes semi-aquatiques et aquatiques. Dans notre étude, les végétaux aquatiques suivants qui ont été pris en compte sont les héliophytes et les hydrophytes. Ces espèces appartiennent respectivement aux familles des *Araceae*, *Cyperaceae*, *Hydrocharitaceae*, *Lemnaceae*, *Nymphaeaceae*, *Pontederiaceae*, *Salviniaceae*, *Scrophulariaceae* (Tableau 14). Elles sont considérées à l'échelle mondiale comme des espèces invasives (May, 2007 ; Peltre *et al.*, 1997).

Tableau 14 : La végétation aquatique dans les mares martiniquaises

| Familles | Nom vernaculaire | Espèces | Classification morphologique |
|-------------------------|-------------------|--|------------------------------|
| <i>Araceae</i> | Laitue d'eau | <i>Pistia stratiotes</i> | Hydrophytes |
| <i>Cyperaceae</i> | Papyrus du Nil | <i>Cyperus papyrus</i> | Héliophytes |
| <i>Hydrocharitaceae</i> | — | <i>Hydrilla verticillata (L.F) Royle</i> | Hydrophytes |
| <i>Lemnaceae</i> | Vert de gris | <i>Lemna polyrhiza</i> | Hydrophytes |
| <i>Scrophulariaceae</i> | — | <i>Micranthemum umbrosum (Walter ex J.- F.Gmel.) Blake</i> | Hydrophytes |
| <i>Nymphaeaceae</i> | Chapo dlo | <i>Nymphaea ampla</i> | Hydrophytes |
| <i>Pontederiaceae</i> | La jacinthe d'eau | <i>Eichhornia crassipes</i> | Hydrophytes |
| <i>Salviniaceae</i> | — | <i>Salvinia molesta D. S. Mitch</i> | Hydrophytes |

Dans nos mares, nous avons recensé quatre types de végétaux d'hydrophytes (Figure 58 ; Tableaux 15 et 16) :

- les hydrophytes libres nageants appelés aussi pleustophytes (Barbe, 1984 ; Haury, 1992) : *Pistia stratiotes L.*, *Lemna polyrhiza*, *Salvinia molesta D. S. Mitch* ;
- les hydrophytes fixées avec feuilles flottantes : *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata(L.F) Royle*, *Nymphaea ampla* ;
- les hydrophytes fixées avec feuilles immergés : *Micranthemum umbrosum* ;
- les végétaux herbacés amphibies (héliophyte) dominés par une espèce en bordure des mares : *Cyperus papyrus L.*

Tableau 15 : Espèces observés durant le cadre de notre étude de 2018 à 2020

| Espèces | Mare n° 2 | | | Mare n° 5 | | | Mare n° 6 | | |
|------------------------------|-----------|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2018 | 2019 | 2020 | 2018 | 2019 | 2020 |
| <i>Cyperus papyrus</i> | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| <i>Eichhornia crassipes</i> | + | + | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Hydrilla verticillata</i> | + | + | + | - | - | - | - | - | - |
| <i>Lemna polyrhiza</i> | + | + | + | - | - | - | - | - | - |
| <i>Micranthemum umbrosum</i> | + | + | + | - | - | - | + | + | - |
| <i>Nymphaea ampla</i> | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| <i>Pistia stratiotes</i> | + | + | - | + | - | - | - | - | - |
| <i>Salvinia molesta</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Espèces | Mare n° 7 | | | Mare n° 8 | | | | | |
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2018 | 2019 | 2020 | | | |
| <i>Cyperus papyrus</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Eichhornia crassipes</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Hydrilla verticillata</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Lemna polyrhiza</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Micranthemum umbrosum</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Nymphaea ampla</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Pistia stratiotes</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Salvinia molesta</i> | - | - | - | - | - | - | | | |

Tableau 16 : Espèces observées durant le cadre de notre étude de 2018 à 2020

| | Mare n° 13 | | | Mare n° 14 | | | Mare n° 34 | | |
|------------------------------|------------|------|------|------------|------|------|------------|------|------|
| Espèces | 2018 | 2019 | 2020 | 2018 | 2019 | 2020 | 2018 | 2019 | 2020 |
| <i>Cyperus papyrus</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Eichhornia crassipes</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Hydrilla verticillata</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Lemna polyrhiza</i> | - | - | - | - | - | + | + | + | + |
| <i>Micranthemum umbrosum</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Nymphaea ampla</i> | + | + | + | + | + | - | - | - | - |
| <i>Pistia stratiotes</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Salvinia molesta</i> | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Espèces | Mare n° 35 | | | Mare n° 42 | | | | | |
| <i>Cyperus papyrus</i> | 2018 | 2019 | 2020 | 2018 | 2019 | 2020 | | | |
| <i>Eichhornia crassipes</i> | - | - | - | + | + | + | | | |
| <i>Hydrilla verticillata</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Lemna polyrhiza</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Micranthemum umbrosum</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Nymphaea ampla</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Pistia stratiotes</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Salvinia molesta</i> | - | - | - | - | - | - | | | |
| <i>Cyperus papyrus</i> | - | - | - | + | + | + | | | |

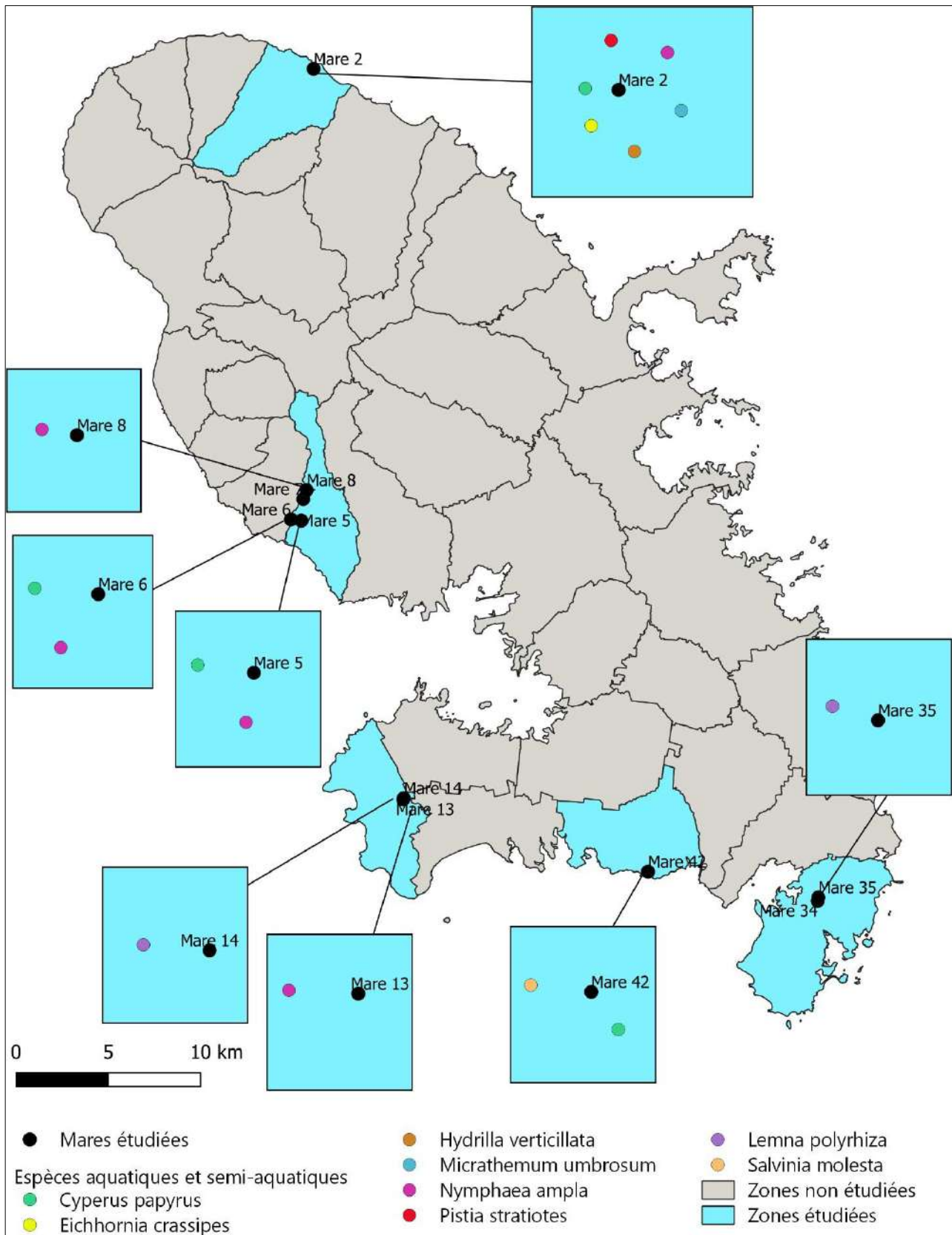


Figure 58 : Répartition géographique des espèces aquatiques et semi-aquatiques en Martinique (Réalisation : Peguy Major et Carl Lavau, 2022)

3.7.1 Les hydrophytes libres nageants

3.7.1.1 La *Pistia stratiotes* L.



Figure 59 : *Pistia stratiotes* L. (Peguy Major©, 2022)

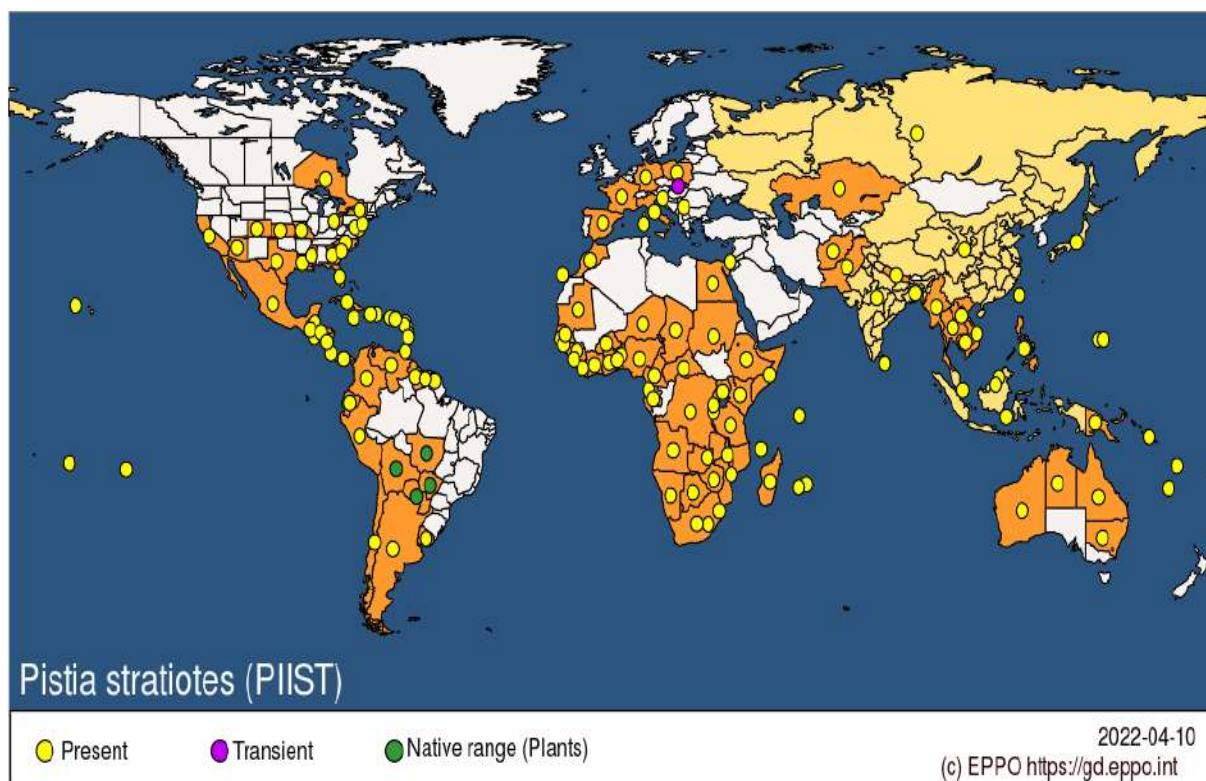


Figure 60 : Carte de la répartition mondiale de la *Pistia Stratiotes* L.

(Source : <https://gd.eppo.int/taxon/PIIST/distribution>. Consulté le 04 Avril 2022)

Distribution géographique

Pistia stratiotes L. (Figure 59) est une macrophyte aquatique flottante de la famille des Araceae (Khan *et al.*, 2014 ; Fournet, 2002), dont la distribution est mondiale (Figure 60) dans les climats tropicaux et subtropicaux (Dewald et Lounibos, 1990). L'espèce est originaire d'Amérique du Sud (Howard et Harley, 1998). Elle vit dans l'eau chaude. Toutefois, l'aire de répartition de l'espèce est débattue. Très sensible au froid, elle ne survit pas aux climats nordiques (Weldon et Blackburn, 1967). Cette plante était jusqu'à récemment observée, sur tous les continents sauf en Europe et en Antarctique. Cependant, aujourd'hui, des études montrent qu'elle a été aperçue dans les climats tempérés notamment en Europe centrale, en particulier les canaux d'eau aux Pays-Bas, en France et en Espagne, en Italie, et au Danemark (Prokopuk et Zub, 2022 ; Dewald et Lounibos, 1990). Les invasions de cette espèce dans les plans d'eau européens ont commencé à la fin du siècle précédent. Le chercheur Pilipenko en 1993 affirme que l'introduction en Europe s'est probablement produite par suite d'un rejet accidentel d'aquariums ou d'horticulture. Les scientifiques Schanzer (2003), Venema (2001), confirment qu'elle est largement cultivée comme plante ornementale (Šajna *et al.*, 2007). Elle apparaît en ville dans des pièces d'eau peu profondes et chaudes en Europe de l'Est pendant les périodes estivales ou lorsqu'elle reçoit de l'eau techniquement chauffée (Prokopuk et Zub, 2020 ; Barmin et Kuzmina, 1993).

L'habitat

En 1978, les chercheurs, Tarver, Rodgers, Mahler, et Lazor ont avancé que cette espèce végétale se développe dans des eaux douces tranquilles ou lentes, formant fréquemment des tapis épais en surface : canaux deltas de rivières, étangs et mares (Dewald et Lounibos, 1990).

Caractères morphologiques

L'espèce est formée d'une rosette de feuilles velues, vert clair, poilues, nervurées, avec de longues racines submersibles plumeuses suspendues à un petit rhizome. Les fleurs, regroupées sur une petite tige charnue, presque cachée entre les aisselles des feuilles, se présentent comme une spathe avec une seule fleur femelle en dessous, et un verticille de 4 à 9 fleurs mâles en haut. Le fruit est une baie verte à plusieurs graines (Prokopuk et Zub, 2022 ; Kurugundla, 2014).

Écologie et reproduction

C'est un macrophyte flottant dont les caractéristiques biologiques et écologiques contribuent à son développement rapide et à sa capacité d'expansion. C'est une espèce monoïque (fleurs mâles et fleurs femelles portées sur le même pied). Elle a une reproduction végétative (Šajna *et al.*, 2007 ; Dray et Center, 1989). Les chercheurs ont affirmé que la croissance de *P. Stratiotes* était influencée par la disponibilité en éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium), la salinité, la densité, le broutage par les insectes, les pathogènes viraux, le pH et les conditions météorologiques (Neuenschwander *et al.* cité par Muniappan *et al.*, 2009).

Les études relatives sur la floraison et sur le semis par la laitue d'eau, *Pistia stratiotes* L., sont insuffisantes. En 1977, Holm *et al.* ont déclaré que la floraison et la fructification varient selon la région. La floraison a été observée en Afrique, aux Philippines, aux États-Unis et en Inde (Harley, 1990). Dray et Center en 1989 déduisent que la germination des graines est une cause importante dans la dynamique des populations de laitue d'eau aux États-Unis, et ont fourni d'excellentes illustrations des fruits, des graines et des semis (Harley, 1990). L'espèce est couramment vendue dans le commerce des jardins aquatiques (Adebayo *et al.*, 2011).

Les menaces

Les scientifiques Labrada et Fornasari en 2002 confirment que dans de nombreux pays, elle est connue comme l'une des plus importantes mauvaises herbes aquatiques pantropicales (Sajna *et al.*, 2007). En effet, elle se multiplie en tapis épais qui obstruent la navigation, barrant également la présence de poissons. Elle est capable de développer des infestations denses, entravant la pêche et le transport par bateau, boquant les barrages et les milieux humides (Kurugundla, 2014). De plus, il s'agit d'une espèce exotique potentiellement dangereuse qui réagit positivement à l'augmentation progressive de la température annuelle moyenne de l'eau, et figure sur la liste des plantes envahissantes de l'OEPP¹⁴ depuis 2012 (Chapman *et al.*, 2017). Enfin, elle perturbe la flore et la faune aquatiques. Et par conséquent, elle nuit et affecte l'écosystème aquatique (Khan *et al.*, 2014).

¹⁴ Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes

3.7.1.2 La *Lemna polyrhiza*



Figure 61 : *Lemna polyrhiza* (Peguy Major©, 2022)



Figure 62 : Carte de la répartition mondiale de la *Lemna polyrhiza*

(Source : <https://www.gbif.org/species/4097534>. Consulté le 10/04/2022)

Distribution géographique

Le terme **duckweed** indique un groupe de plantes d'eau douce flottantes appartenant à la famille des *Lemnaceae* (Pulido *et al.*, 2021). Elle compte 5 genres et au moins 38 espèces réparties dans le monde (Figure 62), à l'exception des régions de l'Antarctique et de l'Arctique.

Carl von Linné (1707-1778) a été le premier botaniste à récolter la *Lemna* et il a décrit quatre espèces appartenant au genre *Lemna* (Wang *et al.*, 2020 ; Xu *et al.*, 2014).

La *Lemna polyrhiza* (*spirodela polyrrhiza*) est une petite plante aquatique flottante appartenant à la famille des *Lemnaceae* (Ozengin et Elmaci, 2007). Cette espèce végétale a une distribution géographique et climatique mondiale allant des régions tempérées froides aux régions tropicales, à l'exception des déserts sans eau et des régions polaires gelées en permanence. Dans les régions arides et extrêmement humides (Malaisie, Islande et autres), la présence naturelle de la *Lemna polyrhiza* (Figure 61) est également rare (Landolt cité dans Ozengin et Elmaci, 2007). Toutefois, la majorité des espèces se situe dans les climats modérés des zones subtropicales et tropicales.

L'habitat

Les petites plantes vasculaires flottantes poussent sur des eaux douces comme les lacs, les étangs, les fossés, les rizières et les eaux peu profondes et saumâtres calmes et riches en nutriments (Coughlan *et al.*, 2022 ; Unadkat et Parikh, 2019 ; Xu *et al.*, 2014 ; Iqbal, 1999).

Caractères morphologiques

La *Lemna polyrhiza* est bien connue pour sa productivité élevée et sa teneur élevée en protéines. Elles sont vertes et ont une petite taille (1-3 mm). Ses racines sont courtes mais denses (1-3cm) (Altay *et al.*, 1996 ; Fournet, 2002). Les frondes de *Lemna polyrhiza* poussent en colonies qui, en particulier, dans des conditions de croissance, forment un tapis de surface dense et uniforme (Xu *et al.*, 2014 ; Ozengin et Elmaci, 2007).

Écologie et reproduction

La *Lemna polyrhiza* peut croître et tolérer un pH variant de 3 à 7,5, des températures comprises entre 6 °C et 33 °C (Culley *et al.*, 1981), et son temps de croissance double de 2 à 4 jours dans des conditions de croissance optimales (Pulido *et al.*, 2021). La *Lemna polyrhiza* se reproduit par multiplication végétative, on parle de reproduction asexuée (Wang *et al.*, 2020).

Les menaces

Elle se reproduit facilement et pendant la saison des pluies. Ces plantes menacent les rivières en bouchant les drains (Unadkat et Parikh, 2019).

3.7.1.3 *La Salvinia molesta* D. S. Mitch



Figure 63 : *Salvinia molesta* D.S. Mitch (Peguy Major©, 2022)

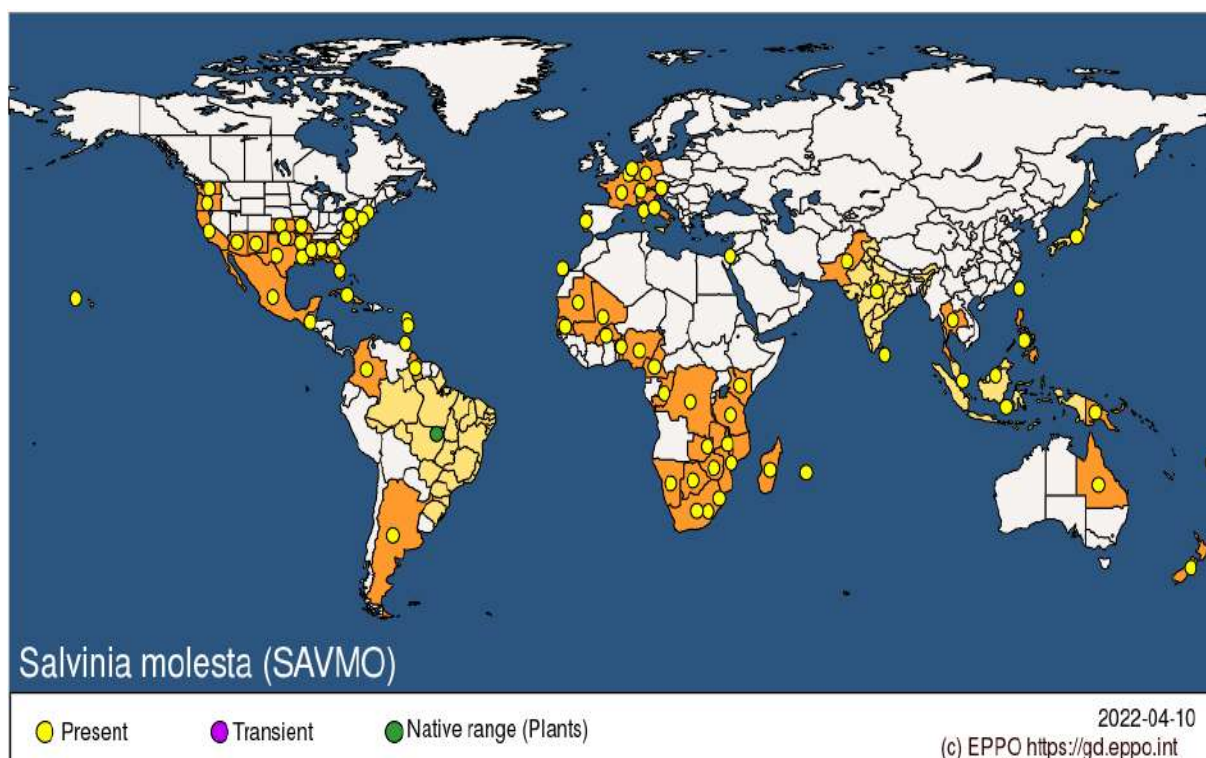


Figure 64 : Carte de la répartition mondiale de la *Salvinia molesta* D.S. Mitch
(Source : <https://gd.eppo.int/taxon/SAVMO/distribution>. Consulté le 04 Avril 2022).

Distribution géographique

La *Salvinia* géante, *Salvinia molesta* Mitchell (Figure 63), est originaire du Sud-Est du Brésil (Sullivan *et al.*, 2011). Elle s'est largement répandue par l'homme en Afrique, en Australie, en Amérique centrale et du Nord (Figure 64). Nous la trouvons aussi en Australie. Elle se situe dans les climats tempérés et tropicaux (Martin *et al.*, 2018 ; Choudhary *et al.*, 2008 ; Tipping *et al.*, 2008 ; Cilliers, 1991 ; Room et Thomas, 1986 ; Forno et Harley, 1979). Selon quelques auteurs, c'est la plante qui s'est la plus rapidement répandue au monde (Hussain *et al.*, 2016).

L'habitat

Elle pousse rapidement dans les eaux stagnantes, les lacs d'eau et dans les zones de mangroves (Choudhary *et al.*, 2007).

Caractères morphologiques

La *Salvinia molesta* est une fougère aquatique flottant librement (Martin *et al.*, 2018). Elle possède une tige horizontale qui se trouve à la surface de l'eau ou juste en dessous. Elle forme des chaînes de ramets reliées par un rhizome horizontal qui se fragmente avec l'âge, et les dommages pour former de nouvelles plantes, facilitant ainsi la propagation (Neuenschwander *et al.* cité par Muniappan *et al.*, 2009 ; Tipping *et al.*, 2008). Elle peut doubler sa population en une semaine à dix jours. Cette plante aquatique est connue pour sa variation morphologique en fonction de son âge, pour sa large population et de la disponibilité des nutriments. Les chercheurs Mitchell et Tur (1975) ont décrit trois étapes de sa croissance liées entre elles (Julien, 2012) :

Étape 1 : une forme primaire à petites feuilles émergentes (Figure 65) et se trouvent à la surface de l'eau.



Figure 65 : Forme de croissance primaire de la *Salvinia molesta* D.S. Mitch (Peguy Major©, 2019)

Étape 2 : une forme secondaire à feuilles légèrement plus grandes et légèrement recourbées sur les bords (Figure 66).



Figure 66 : Forme de croissance secondaire de la *Salvinia Molesta* D.S. Mitch (Peguy Major ©, 2019)

Étape 3 : une forme tertiaire (Figure 67), les plantes deviennent très serrées, les feuilles prennent une position plus verticale et se regroupent en chaînes (Neuenschwander *et al.* cité par Muniappan *et al.*, 2009).



Figure 67 : Forme de croissance tertiaire de la *Salvinia molesta* D.S. Mitch (Peguy Major©, 2019)

Les différences d'apparence entre les formes de croissance des plantes peuvent induire l'observateur en erreur, et lui faire croire qu'elles représentent plus d'une espèce (Muniappan *et al.*, 2009).

Écologie et reproduction

Cette plante est un polyploïde stérile, la reproduction est donc entièrement végétative (Room, 1990 ; Tipping *et al.*, 2008). En effet, elle se reproduit uniquement par reproduction asexuée, mais elle est capable de croître extrêmement rapidement, débutant à partir de petits fragments (nœuds ou bourgeons apicaux) et doublant en population en très peu de jours, avec pour résultat le recouvrement de mares, réservoirs et lacs par un tapis flottant épais de 10 à 20 cm, rarement plus de 60 cm.

Elle possède cinq paires de chromosomes (pentaploïde). Ainsi, la *salvinia molesta* représente un seul clone considérable à l'échelle mondiale (Muniappan *et al.*, 2009).

Cette plante présente une plasticité phénotypique et a une capacité à s'adapter physiologiquement et morphologiquement, en raison des conditions environnementales qui lui sont favorables (Martin *et al.*, 2018).

Les menaces

La *Salvinia molesta* élimine tous les autres types de végétation hydrophytique dans les eaux environnantes et est mondialement considérée comme l'une des mauvaises herbes aquatiques les plus gênantes car les impacts négatifs sont importants sur l'environnement dans de nombreuses régions tropicales du monde (Verma *et al.*, 2015 ; Cilliers *et al.*, 2003).

Elle envahit les habitats aquatiques, forme des tapis denses sur les plans d'eau à faible débit, obstrue les canaux d'irrigation et a des effets délétères sur l'utilisation de l'eau et sur la biodiversité des biosystèmes aquatiques (Martin *et al.*, 2018 ; Leterme *et al.*, 2009).

Cette espèce limite la pêche, la natation et rend l'eau impropre à la consommation (Mubarak *et al.*, 2021). Pour terminer, l'invasion d'un plan d'eau par la *salvinia* d'eau finit par recouvrir entièrement le plan d'eau (Hussain *et al.*, 2016).

3.7.2 Les hydrophytes fixées avec feuilles flottantes

3.7.2.1 L'*Eichhornia crassipes*



Figure 68 : *Eichhornia crassipes* (Peguy Major©, 2019)

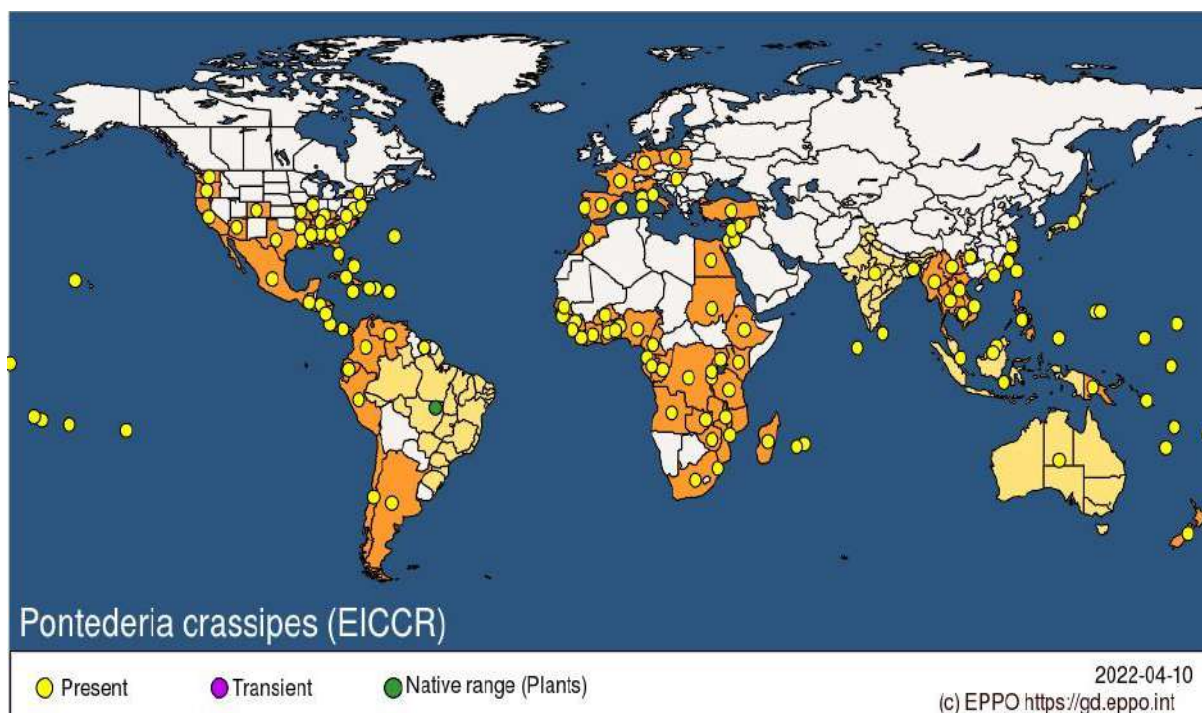


Figure 69 : Carte de la répartition mondiale de l'espèce *Eichhornia crassipes*

(Source : <https://gd.eppo.int/taxon/EICCR/distribution>. Consulté le 04 Avril 2022).

Distribution géographique

La jacinthe d'eau (Figure 68) est connue sous le nom scientifique d'*Eichhornia crassipes* (Merry et Mitan, 2019). Elle a été décrite pour la première fois par le botaniste Carl Friedrich Philipp von Martiusen 1823 (Muniappan *et al.*, 2009). Originaire de l'Amazonie de l'Amérique du Sud. Elle appartient à la famille des Pontederiaceae (Mayo et Hanai, 2016). Elle est et a été répandue par l'homme dans toute la zone tropicale : le Venezuela, des parties du centre de l'Amérique du Sud et les îles des Caraïbes. On la trouve en dehors de l'Amérique du Sud en 1884 dans la Nouvelle-Orléans et ensuite, elle s'est répandue aux Etats-Unis. À la fin du XIX^e siècle, elle est découverte en Egypte, en Inde, en Australie et à Java (Figure 69). Elle se localise maintenant dans toute la zone tropicale mais elle est aussi repérée dans les régions tempérées chaude du monde. De nombreuses invasions en Afrique ont été détectées pour la première fois dans les années 1980, même si la plante a été localisée sur le continent africain en Egypte entre 1879 et 1892 (Muniappan *et al.*, 2009 ; Chadwick et Obeid, 1966).

La jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) pousse abondamment dans les régions tropicales et subtropicales du monde, et est aussi largement distribuée dans les régions du sud-ouest du Japon (Adeyemi et Osubor, 2016 ; Silva *et al.*, 2015 ; Ranarijaona *et al.*, 2013 ; Wilson *et al.*, 2005 ; Lakshminarayana *et al.*, 1984 ; Goswami et Saikia, 1994 ; De Busk *et al.*, 1983 ; Muramoto et Oki, 1983 ; Barrett et Forno, 1982 ; Batanouny et El-fiky, 1975 ; Bock, 1969).

L'habitat

La jacinthe d'eau se développe dans les étangs, les cours d'eau, les lacs, les bassins fluviaux et les réservoirs d'eau (Merry et Mitan, 2019 ; Mayo et Hanai, 2016 ; Li *et al.*, 2006 ; Lakshminarayana *et al.*, 1984). Elle est présente aussi dans les estuaires, les marais, les dambos, les rivières à débit lent, et les voies navigables (Rezania *et al.*, 2015 ; Theuri, 2013 ; Xie et Yu, 2003 ; Polprasert *et al.*, 1994).

Caractères morphologiques

L'*Eichhornia crassipes* est un macrophyte flottant qui mesure jusqu'à 1 m de haut, mais la hauteur habituellement mesurée est de 40 cm (Rezania *et al.*, 2015 ; Maddi, 2014 ; Fournet, 2002). La plante mature est constituée de longues racines pendantes, de rhizomes, de stolons, de feuilles, d'inflorescences et de grappes de fruits. Les stolons donnent naissance à de nouvelles plantes qui se séparent facilement. Les morceaux de plantes brisées forment aussi rapidement de nouveaux plants (Bock, 1969).

Les feuilles sont larges, épaisses, brillantes et ovales. Les tiges sont généralement longues, spongieuses et bulbeuses. Les racines sont plumeuses, pendent librement et sont de couleur pourpre-noir (Figure 70).

La jacinthe d'eau a des racines noires et résistantes (Figure 70) et lorsqu'elle s'échoue irrégulièrement dans la boue, elle peut sembler enracinée. Les fleurs sont attrayantes et comportent six pétales (Adeyemi et Osubor, 2016 ; Rezanian *et al.*, 2015 ; Fournet, 2002). Elles sont bleu pâle ou violet, avec une tache centrale jaune dans le lobe du périanthe standard, et sont portées en épis (Theuri, 2013).

L'inflorescence est composée 6 à 10 fleurs en forme de lis, chacune ayant un diamètre de 4 à 7 cm. Les tiges et les feuilles contiennent des tissus remplis d'air qui fournissent à la plante sa flottabilité substantielle (Rezanian *et al.*, 2015).



Figure 70 : Racines de l'*Eichhornia crassipes* (Peguy Major©, 2019)

Écologie et reproduction

La jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) peut se répandre rapidement en quelques semaines, pour configurer un tapis à la surface de l'eau (Merry et Mitan, 2019). L'*Eichhornia crassipes* pousse dans un large éventail d'écosystèmes d'eau douce, et est connue pour doubler en nombre et en biomasse toutes les unes à deux semaines, selon la zone géographique et la saison de l'année (Mayo et Hanai, 2017). La reproduction est à la fois sexuelle et végétative. Pour une propagation rapide, la promulgation végétative est plus importante. Dans des conditions

favorables de température et de disponibilité des nutriments, la propagation végétative est très rapide. Ce qui explique sa grande propagation et sa nuisance (Merry et Mitan, 2019 ; Oliveira-Junior *et al.*, 2018).

Cette plante aquatique flottante est classifiée comme l'une des plantes les plus productives du monde, avec une production annuelle estimée de biomasse qui varie de 90 à 140 tonnes de matière sèche par hectare en fonction des facteurs géographiques et climatiques (Silva *et al.*, 2015).

Il existe très peu d'informations sur les caractéristiques compétitives des macrophytes aquatiques flottants des espèces *Eichhornia crassipes* et *Pistia stratiotes*. Les études menées jusqu'à présent ont montré la domination de *Eichhornia crassipes* sur *Pistia stratiotes* (Agami et Reddy, 1990). La lumière et la température dans les climats tempérés jouent un rôle important dans la propagation végétative (Urbanc-bercic et Gaberscik, 1989). L'espèce tolère assez bien les conditions de sécheresse parce qu'elle peut survivre dans un sol humide jusqu'à plusieurs mois (Rezania *et al.*, 2015).

Les menaces

Les jacinthes d'eau deviennent un problème dans les lacs, les étangs et les cours d'eau dans de nombreuses régions du monde (Ranarijaona *et al.*, 2013 ; Gunnarsson et Mattsson Petersen, 2007). En effet, cette plante cause de graves problèmes à l'échelle mondiale sur les plans sociaux, économiques et environnementaux (Mayo et Hanai, 2017 ; Sindhu *et al.*, 2017).

La jacinthe d'eau fait l'objet d'une grande attention, en raison de sa croissance rapide. En effet, elle est considérée comme une herbe aquatique la plus horrible et la plus nocive du monde. Ainsi, elle peut diminuer la qualité et la quantité d'eau. Sa prolifération a des impacts positifs et négatifs, tels que la destruction des activités de pêche, de transport, l'augmentation de la source de maladies humaines et de matières premières pour le papier (Merry et Mitan, 2019). Elle provoque un déséquilibre écologique dans les lacs entraînant l'étouffement de la vie piscicole et des plantes aquatiques indigènes. Les impacts économiques de la jacinthe d'eau comprennent aussi les effets sur la navigation et la pêche (Mayo et Hanai, 2017 ; Ranarijaona *et al.*, 2013 ; Theuri, 2013 ; Muniappan *et al.*, 2009 ; Wilson *et al.*, 2005 ; Batanouny et El-Fiky, 1975).

3.7.2.2 L'*hydrilla verticillata*



Figure 71 : *Hydrilla verticillata* (Peguy Major©, 2019)

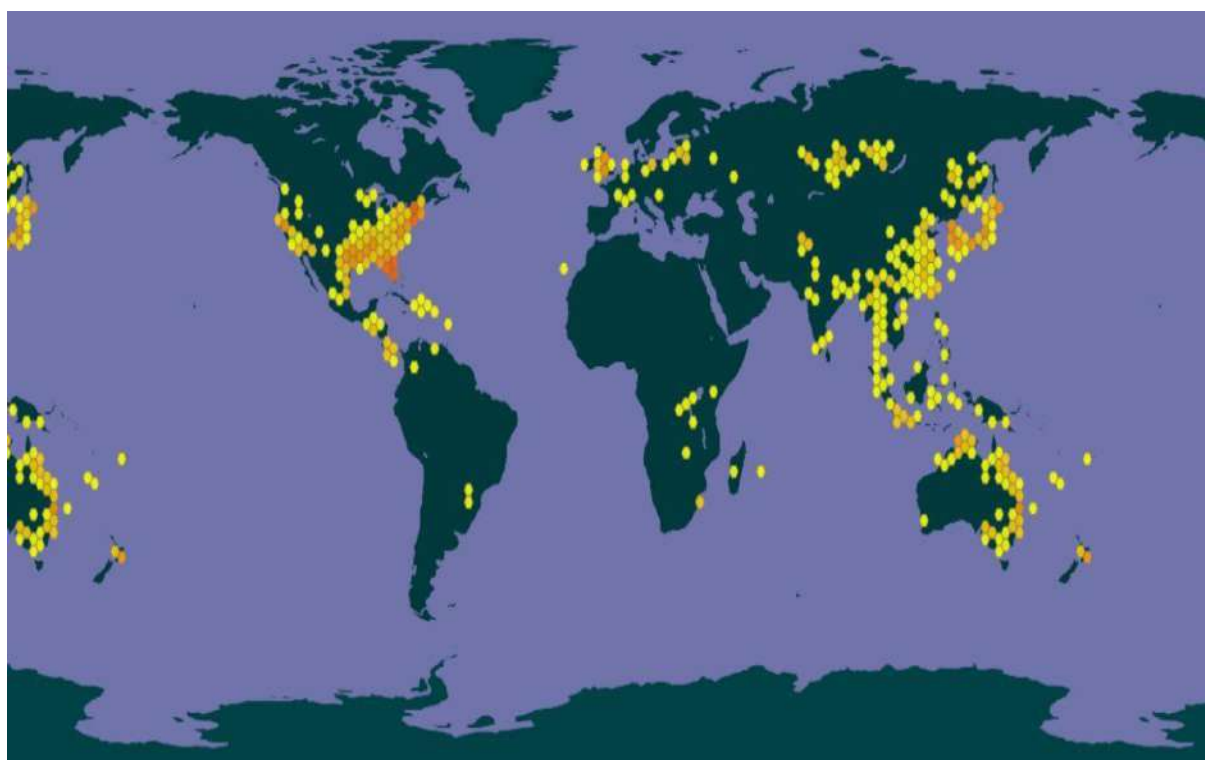


Figure 72 : Carte de la répartition spatiale de l'espèce *Hydrilla verticillata*
(Source : <https://www.gbif.org/species/5329570>. Consulté le 04 Avril 2022).

Distribution géographique

L'hydrilla verticillata (L. f.) Royle (Figure 71) appartient à la famille des *Hydrocharitaceae* qui est originaire des régions plus chaudes d'Asie (Haug *et al.*, 2019 ; Yeo *et al.*, 1984). C'est une plante aquatique submergée, vivace et vasculaire trouvée dans les habitats d'eau douce (Jain et Kalamdhad, 2018). Il s'agit d'une espèce cosmopolite présente en Europe, en Asie, en Australie, en Nouvelle-Zélande, dans les îles du Pacifique, en Afrique, en Amérique du Sud et en Amérique du Nord et dans la Caraïbe (Major et Claude, 2021 ; Copeland *et al.*, 2011 ; Maddi, 2010 ; Kula, 2009 ; Fournet, 2002 ; Puri *et al.*, 2007 ; Sutton et Langeland, 1980) (Figure 72). Bien que *l'hydrilla verticillata* se reproduit dans les zones tempérées, elle a tendance à être plus répandue dans les régions tropicales du monde (Joye et Paul, 1992). *L'hydrilla verticillata* a été découvert aux États-Unis en 1960 à deux endroits : en Floride, un canal près de Miami et à Crystal River (Basiouny *et al.*, 1978 ; Langeland, 1996). L'espèce était jusqu'alors inconnue en Afrique du Sud, celle-ci a été découverte au barrage de Pongolapoort dans la rivière Pongola en février 2006 par l'Institut de recherche pour la protection des végétaux (Madeira *et al.*, 2007). Elle été repérée sur tous les continents sauf l'Antarctique (Prabha *et al.*, 2019 ; Steward, 1993 ; Steward et Van, 1987 ; Spencer et Anderson, 1986 ; Cook et Luond, 1982).

L'habitat

Elle se développe dans les habitats d'eau douce, stagnante et à faible courant : étangs, lacs, canaux, mares, rivières (Jain et Kalamdhad, 2018 ; Copeland *et al.*, 2011 ; Langeland, 1996 ; Joye et Paul, 1992).

Caractères morphologiques

C'est une espèce aquatique submergée et enracinée, annuelle ou vivace. Elle se distingue en deux biotypes : monoïque et dioïque avec des fleurs mâles et femelles provenant d'une spathe (Haug *et al.*, 2019 ; Maddi, 2010 ; Madeira *et al.*, 2007 ; Steward, 1993 ; Lal et Gopal, 1993). Dans les régions tropicales, les espèces sont généralement monoïques avec des fleurs mâles et femelles à des verticilles séparés, souvent sur des branches séparées. Dans les régions tempérées, les espèces semblent être dioïques (Cook et Luond, 1982). Les fleurs femelles sont composées de trois sépales blanchâtres et de trois pétales translucides, longues de 10 à 50 millimètres, larges de 4 à 8 millimètres, attachées à l'aisselle des feuilles, sont regroupées vers l'extrémité des tiges et flottent à la surface de l'eau. Elle est très polymorphe. Sa physionomie

peut varier énormément en fonction des conditions dans lesquelles elle se développe. L'*hydrilla verticillata* pousse immerger dans l'eau, et est généralement enracinée dans le fond, même si parfois les fragments se détachent et survivent dans un état de flottement libre. Les tiges sont dressées et peuvent être assez longues lorsque la plante pousse en eau profonde. De nombreuses tiges horizontales (stolons) et les tiges souterraines (rhizomes) sont également produites. Les feuilles ont 2 à 4 millimètres de large, 6 à 20 millimètres de long, et se produisent dans les verticilles de 3 à 8 millimètres. Elle produit deux autres structures, ce sont des propagules appelées turions et tubercules.

Les turions sont des bourgeons dormants très compacts, qui sont produits à l'aisselle des feuilles et tombent de la plante à maturité. Ces structures sont longues de 5 à 8 millimètres, vertfoncé et semblent épineuses.

Les tubercules sont formés en phase terminale sur des rhizomes, ou des stolons et peuvent se trouver à 30 centimètres de profondeur dans les sédiments. Elles mesurent 5 à 10 millimètres de long et sont blanc cassé à jaune à moins qu'elles ne prennent des couleurs plus foncées des sédiments organiques (Maddi, 2010 ; Fournet, 2002 ; Yeo *et al.*, 1984 ; Langeland, 1996 ; Spencer *et al.*, 1986).

Écologie et reproduction

L'*Hydrilla* est très répandue et lorsqu'on la considère sur l'ensemble de son aire de répartition, elle montre une énorme amplitude écologique. C'est une plante aquatique submergée qui ne développe pas de feuilles aériennes. Elle se développe dans plusieurs types d'habitats aquatiques, mais rarement dans les eaux à fort débit. De plus, elle semble éviter les habitats ombragés et croît principalement dans les eaux peu profondes (jusqu'à environ 50 cm de profondeur) : la photosynthèse y est plus active. Toutefois, elle a déjà été trouvée dans des eaux profondes, à des profondeurs allant jusqu'à 7 m. Elle n'atteint pas la surface. Selon la littérature scientifique, cette espèce aquatique se développe dans des eaux acides oligotrophes à eutrophes, parfois dans les eaux fortement alcalines, par exemple en Afrique et au Pakistan et aussi dans les eaux saumâtres par exemple en Asie du Sud et du Sud-Est.

L'*hydrilla verticillata* croît et se propage très vite. En produisant ce tapis de végétation sur la surface de l'eau hydrilla est en mesure d'intercepter la lumière du soleil à l'exclusion d'autres plantes immergées (Langeland, 1996). Sa capacité à se développer sous une faible lumière est une caractéristique qui fournit à cette plante un avantage compétitif distinct par rapport aux autres plantes aquatiques qui nécessitent plus de lumière (Sutton *et al.*, 1980). Les fragments

de tige détachés se transforment facilement en nouveaux individus, qui s'attachent au substrat par des racines adventives fines et non ramifiées. Les hibernacles sont développés sur des pousses érigées et souterraines. La reproduction végétative est le seul mode de reproduction signalé par les chercheurs. Ce taxon se multiplie soit par bouturage naturel et soit par formation d'organes spécialisés ou de résistance : stolons, rhizomes, tubercules et turions (Cook et Luond, 1982 ; Yeo *et al.*, 1984 ; Langeland, 1996 ; Fournet, 2002 ; Maddi, 2010). Il influence l'environnement et modifie les écosystèmes en rivalisant avec les autres espèces végétales et en provoquant par sa dominance populationnelle des changements dans la faune (Baniszewski *et al.*, 2016).

Les menaces

Hydrilla pourrait facilement être appelée la plante aquatique parfaite, en raison des nombreux attributs adaptatifs qu'elle possède pour survivre dans l'habitat aquatique. Ces caractéristiques permettent à *hydrilla* d'être une espèce colonisatrice, agressive et compétitive des biotopes aquatiques. *Hydrilla* est devenue nuisible dans les eaux nord-américaines (Langeland, 1996). Elle est considérée à l'échelle mondiale comme une espèce agressive, opportuniste et nuisible de la famille des *Hydrocharitaceae* (Prabha *et al.*, 2019), l'une des mauvaises herbes aquatiques submersibles les plus problématiques aux États-Unis (Haug *et al.*, 2019). Elle est parmi les principales plantes aquatiques nuisibles du monde (Lal et Gopal, 1993). *Hydrilla* avec sa croissance rapide et, peut gravement causer une variété de problèmes d'utilisation de l'eau (Spencer *et al.*, 1986).

Hydrilla verticillata provoque aussi des problèmes économiques graves, par exemple, les loisirs, le transport, le drainage et l'irrigation dans les lacs et les canaux peuvent être entravés. Dans les canaux de drainage, il réduit amplement le débit, ce qui peut entraîner des inondations et des dommages aux berges et aux structures du canal. Dans les canaux d'irrigation, il empêche l'écoulement et obstrue les prises des pompes utilisées pour acheminer l'eau d'irrigation. Dans les réservoirs de refroidissement des services publics, il perturbe les schémas d'écoulement qui sont nécessaires au refroidissement adéquat de l'eau. *Hydrilla verticillata* peut gravement interférer avec la navigation des bateaux récréatifs et commerciaux. En somme, les conséquences négatives causées par l'*Hydrilla verticillata* dépassent de loin les impacts bénéfiques et elle est généralement plus difficile à gérer que les populations de plantes indigènes, qu'elle déplace (Baniszewski *et al.*, 2016 ; Langeland, 1996 ; Spencer *et al.*, 1986 ; Cook et Luond, 1982).

3.7.2.3 La *Nymphaea ampla*

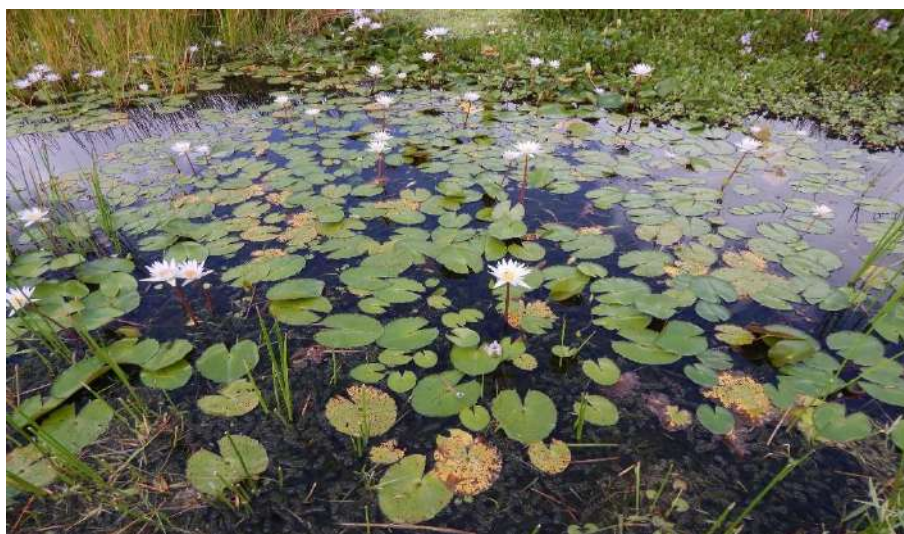


Figure 73 : *Nymphaea ampla* (Peguy Major©, 2019)

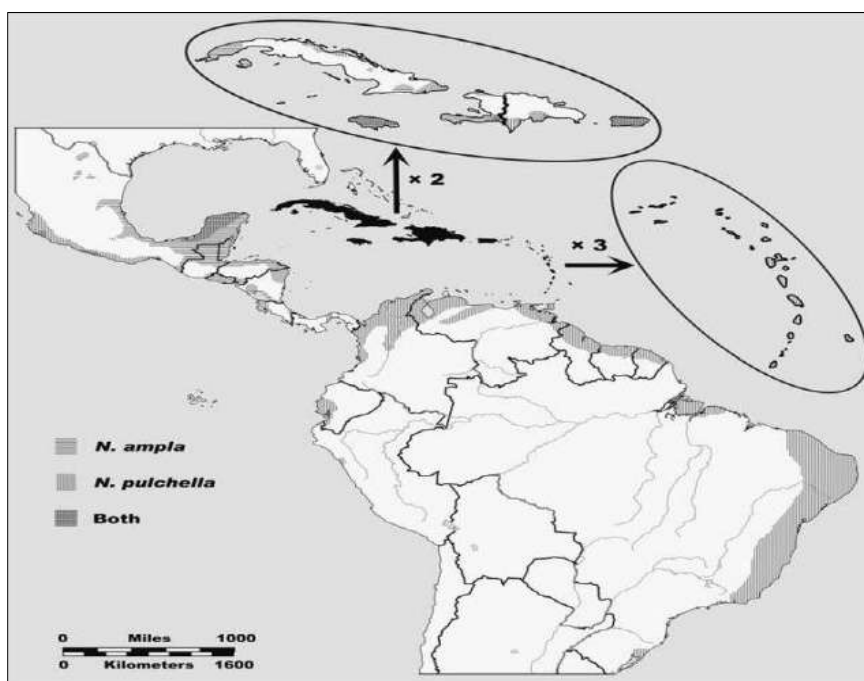


Figure 74 : Distribution de la *Nymphaea ampla* et de *Nymphaea pulchella* dans la Caraïbe (Wiersema et al., p.967-974)

Distribution géographique

Très peu d'études ont été réalisées sur cette espèce aquatique. Néanmoins, il existe une contribution importante sur la taxonomie néotropical de *Nymphaea* L. (Figure 73) rédigée par Robert Caspary. Le chercheur Conard (1905) a subdivisé les nymphes en cinq sous-genres, en fonction des caractéristiques des fleurs, des tiges, des feuilles et des graines, en plus de la répartition géographique (Wiersema *et al.*, 2008). Ce sont : nord-tempéré *Nymphaea* ; néotropical *Hydrocallis* ; paléotropical, lotos du groupe *syncarpous* et australien *Anecphyia* et pantropical. Brachycères du groupe apocarpe *Nymphaea* est le genre le plus grand et le plus répandu chez les *Nymphaeales* (Wiersema, 1988).

Elle comprend environ 40 à 45 espèces de nénuphars, comme on les appelle communément qui sont réparties sur tous les continents, à l'exception de l'Antarctique La *Nymphaea ampla* est une plante aquatique qui est originaire de l'Amérique centrale, du Sud et des Antilles (Figure 74). Elle est présente de la Floride et du Texas jusqu'au bassin de la Caraïbe (Wiersema *et al.*, 2008 ; Bonilla-Barbosa *et al.*, 2000).

Habitat

Elle se développe dans les mares, les étangs, les fossés, les canaux, les marécages et les lacs, les rivières et les ruisseaux peu profonds à débit lent (Fournet, 2002).

Caractères morphologiques

La *Nymphaea ampla* est une herbe aquatique de la famille *Nymphaeaceae* au rhizome vertical, non ramifié, non stolonifère. Ses feuilles flottantes ovales à orbiculaires mesurent 15 à 45 centimètres de long et 15 à 45 centimètres de large, au revers pourpré, à la marge plus ou moins dentée, au pétiole glabre. La face supérieure de la feuille est verte, mais souvent tachée de pourpre noirâtre et celle inférieure est rouge pourpre. Les marges sont dentées. Les fleurs blanches, solitaires et émergées ont un diamètre compris entre 7 et 18 centimètres. Elles s'ouvrent et se ferment uniquement le jour. Elles possèdent quatre sépales verts, 12 à 21 pétales blancs, 50 à 190 étamines jaunes, 14 à 25 carpelles. L'inflorescence est solitaire et aérienne (Oertli et Frossard, 2013 ; Fournet, 2002 ; Wiersema, 1988).

Écologie et reproduction

La reproduction asexuée est principalement protogyne. En effet, elle se multiplie facilement par division de ses rhizomes (Wiersema, 1988).

Les menaces

La littérature scientifique ne nous précise aucune menace.

3.7.3. Les végétaux herbacés amphibies (hélrophyte)

3.7.3.1 Le *Cyperus papyrus*



Figure 75 : *Cyperus papyrus* (Peguy Major©, 2019)



Figure 76 : Carte de la répartition de l'espèce *Cyperus papyrus*

(Source : <https://www.gbif.org/species/2716311>. Consulté le 22 avril 2022).

Distribution géographique

Cyperus papyrus (Fiche 75) est le plus grand carex au monde. Ce carex herbacé est également macrophyte émergente le plus productive. Le papyrus (*Cyperus papyrus* L.) est une plante vivace rhizomateuse de la famille des *Cyperacées*. La plante est originaire des zones humides d'Afrique centrale, orientale et australe et peut bien se développer dans les climats tropicaux et subtropicaux (Rosado *et al.*, 2021) (Fiche 76) La plante est originaire du bassin du Nil, du bassin du Congo (Zaïre) et de la Palestine (Chale, 1987).

Cette espèce est présente également en Méditerranée (sud-est), du Sénégal au Nigeria, du Tchad à l'Éthiopie, en Afrique centrale et australe (partout), à Madagascar. Historiquement, le papyrus avait été cultivé et utilisé par les anciens Egyptiens pour la production de papyrus, un type de papier fabriqué à partir de bandes de la fosse de chaume (Rosado *et al.*, 2021) dans la région méditerranéenne. Maintenant, elle est considérée plutôt comme une plante d'eau ornementale. Elle a été aussi introduite en Inde, en Indochine (Thaïlande), aux États-Unis (sud), dans les Caraïbes en Amérique centrale, en Amérique du Sud (Colombie).

L'habitat

Elle se développe dans des sols très humides voire inondés, sur les rives des mares et des étangs (Oertli et Frossard, 2013), les marais et les marécages (Muthuri et Jones, 1996).

Caractères morphologiques

La plante se compose de racines, de rhizomes, d'écailles de revêtements, d'une tige et d'une ombelle. *Cyperus papyrus* L. se distingue dans les champs par sa grande hauteur, par son inflorescence ouverte, hémisphérique, sans feuilles et aux rayons retombants ; par sa hauteur de 2 à 5 mètres. Son rhizome est gros et court. Sa tige est verte, sombre, robuste et présente une section triangulaire (Rosado *et al.*, 2021 ; Fournet, 2002).

Écologie et reproduction

Cyperus papyrus L. est l'un des plus grands végétaux herbacés semi-aquatiques émergents, qui poussent dans les écosystèmes lenticques et lotiques. Papyrus est une plante qui pousse tout au long de l'année et a besoin régulièrement d'un sol humide (Rosado *et al.*, 2021 ; Oertli et Frossard, 2013).

Les menaces

La dégradation continue de l'habitat du papyrus représente une menace importante pour la conservation de la biodiversité, en particulier pour les oiseaux spécialistes du papyrus et d'autres espèces dépendantes du papyrus dans de nombreux pays africains. Malgré son importance relative, l'empiètement humain et l'intensification des activités agricoles dans de nombreuses régions d'Afrique ont menacé l'existence du papyrus (Adam et Mutanga, 2009).

3.7.4 Les hydrophytes fixées avec feuilles immergées : Le *Micranthemum umbrosum*



Figure 77 : *Micranthemum umbrosum* (Peguy Major©, 2019)



Figure 78 : *Micranthemum umbrosum* rampant sur le sol humide (Peguy Major©, 2019)

Distribution géographique

Il existe très peu de travaux sur la description botanique de cette espèce végétale aquatique, hormis la Flore de Fournet qui fournit une description assez sommaire. *Micranthemum Umbrosum* (Fiche 77) est présente dans le Sud-Est de l'Amérique du Nord, aux Antilles (Cuba, Haïti, Guadeloupe, Martinique, Trinidad) et en Amérique du Sud. Elle appartient à la famille des *scrophulariaceae*. C'est une plante très rare.

L'habitat

Elle se développe dans les mares (Major et Claude, 2021) et dans les étangs (Fournet, 2002). Nous avons repéré cette espèce surtout dans les caniveaux, et dans certains cours d'eau.

Caractères morphologiques

Herbe rampante annuelle qui forme un gazon. Elle possède des tiges ascendantes mesurant 10 à 40cm de long. Ses feuilles sont petites et rondes. Ses fleurs sont petites (Fournet, 2002).

Écologie et reproduction

La multiplication s'obtient par bouturage des pousses latérales. Sa propagation est assez rapide lorsque les conditions sont favorables (Figure 78).

CHAPITRE 4 : MÉTHODE

Le chapitre précédent a permis de présenter notre objet d'étude. Le but du présent chapitre est de présenter les données utilisées et l'approche terrain retenue pour cette étude. Il s'agit principalement de cartes topographiques (IGN de 1950) ; (plan IGN v2 de 2017), de photographies aériennes¹⁵ et de photographies personnelles. De ce fait, l'objet de cette partie est de proposer un cadre méthodologique pour répondre à notre question de recherche.

4.1 Modes d'investigation

L'analyse des mares de la Martinique se base sur l'acquisition des données des cartes topographiques (Figures 79 et 80) et l'observation sur le terrain. Ces divers systèmes

¹⁵ Photo aérienne téléchargeable via des flux de données WMS sur le site de Géoportail

palustres sont répartis au Nord, au Sud et au Centre de l'île. Prenant acte de cette répartition, nous avons initié un protocole nous permettant d'aboutir à une reconnaissance objective de notre objet d'étude :

- Premièrement, notre *travail de recherche s'est appuyé à la fois sur des documents cartographiques et photographiques (cartes topographiques IGN, photographies aériennes et photographies personnelles)*, afin de recenser le nombre de mares ;
- Deuxièmement, un important travail empirique, réparti sur la durée de l'étude (2016-2022) et les divers terrains visités, nous a permis de parcourir en voiture pas moins de 300 km de chemin pour accéder aux mares les plus éloignées, et effectuer les mesures principales. Pour autant, la mise en place d'un protocole de recherche approfondi (suivi hydrologique, suivi biologique, relevé topographique...) n'a pas été possible pour chaque mare. Des choix ont donc dû être effectués, dans le but de déterminer les aspects les plus caractéristiques de chacune d'elle. Manquant de moyens techniques permettant des mesures de niveau d'eau ou d'analyse de la qualité des eaux, notre travail s'est limité à des observations à notre niveau. De plus, la description objective de ces étendues d'eau a bénéficié de travaux antérieurs dont nous avons pu mesurer les carences.

4.2 Limites de la méthodologie existante

Deux études existent sur les mares de la Martinique (inventaire des zones humides 2006 et inventaire des zones humides de 2015). Mais selon nous, les résultats qui ont été restitués de celles-ci ne reflètent pas l'état du terrain. En effet, la démarche méthodologique appliquée par ces deux rapports d'étude est :

4.2.1 Le rapport d'étude de 2006

Ce premier inventaire a eu recours à ces données :

- *Des informations cartographiques et bibliographiques préexistantes liées aux zones humides, essentiellement auprès des principaux acteurs locaux liés à l'environnement.*
- *Des données cartographiques issues des campagnes IGN 1999 : BDTPO IGN C 1994, 2000 et SCAN25 R IGN C ; photos aériennes : BDORTHO IGN 2000.*

4.2.2 Le rapport d'étude de 2015

Ce deuxième inventaire a eu pour objectif de réactualiser la précédente étude – celle de 2006.

Les données utilisées ont été :

- *L'étude inventaire des zones humides de la Martinique 2005 (avec couches SIG au format shapeet base de données Access).*
- *L'évolution spatiale des mangroves de Martinique depuis 1951. Impact Mer, 2011. Rapport pour : DEAL Martinique.*
- *Le BD ORTHO 2000, 2004 et 2010.*
- *L'ORTHO 2010 canal infra-rouge couvrant partiellement la zone d'étude.*

- *Le MNT à 1 mètre de résolution, issu de la campagne Litto 3D.*
- *Le BD TOPO 2010 □ SCAN 25 □ SDAGE 2010.*
- *Les fichiers shape des sites ZNIEFF, PNRM, réserves naturelles...*
- *Les images satellites Pléiades acquises de juillet à septembre 2012.*

Ces deux travaux sont partis de la définition d'une zone humide pour procéder à cet inventaire. Les caractéristiques prises en considération sont la nature de l'eau (douce, saumâtre ou salée, inondée ou saturée) et la superficie. Comme la superficie est inférieure à 0.05 ha sur 80 % de zone humide, le choix (arbitraire, selon nous) a été d'inventorier 100% des zones de plus de 1 ha ; 50% des zones de moins de 1 ha dont 20% des zones de moins de 50 ares ; et environ 10% des zones de moins de 10 ares.

Ces rapports, qui ont le mérite d'exister, révèlent leurs limites par rapport aux canons méthodologiques de la géographie. En effet, en reconsidérant ces insuffisances méthodologiques, notre travail s'est référé aux dernières études scientifiques qui font état de caractéristiques unanimement reconnues de la mare.

C'est dans ce sens que nous avons pris appui sur une définition *synthétique* que mettent en avant les chercheurs Oertli et Frossard (2013). En effet, ces derniers proposent une *méta-définition* qui prend en compte celles qu'ils estiment insuffisantes, mais qui se complètent. D'où leur proposition, que nous avons rappelée (*cf. Supra*), de laquelle nous avons extrait des caractéristiques morphologiques des mares : une eau stagnante, une origine naturelle ou anthropique, une profondeur inférieure à 2 m, une superficie comprise entre 1 et 5000 m², une eau temporaire ou permanente, des plantes aquatiques.

4.3 Méthodologie d'acquisition des données

Nous avons importé des fonds de carte de notre zone d'étude, sur un site de cartographie en ligne Géoportail (plan IGN v2 de 2017, carte topographique de 1950, photographie aérienne) sur le logiciel Qgis© comme outil cartographique, dans le but de géolocaliser et calculer la superficie de toutes les mares, l'objectif étant de recenser le nombre de mares en Martinique. Les photographies aériennes de 1950-1965, aux images grisées, ne seront pas exploitables en raison de la difficulté d'identifier nos mares. Les stratégies suivantes, que nous avons adoptées, nous ont permis d'atteindre les objectifs visés.

4.3.1 La carte topographique IGN de 1950

Pour cela, nous avons utilisé dans le cadre de notre étude, une carte topographique IGN de 1950 à l'échelle de 1/50 000 (Figure 79). D'abord, nous avons localisé tous les plans d'eau

représentés par un figuré de surface bleu sur la carte. Ensuite, nous avons mesuré leurs superficies. Seules les surfaces comprises en 1 m² et 5000 m² ont été prises en compte. Les mares de forme circulaire, ovale ou plus complexe sont représentées par des polygones dans le SIG. Pour chaque mare cartographiée, la superficie, les coordonnées géographiques (latitude et longitude) du centre, le toponyme sont indiqués. Ce repérage nous a permis de réaliser une carte de la répartition géographique des mares en 1950, dans le but d'être renseigné sur la quantité de mare à cette période.

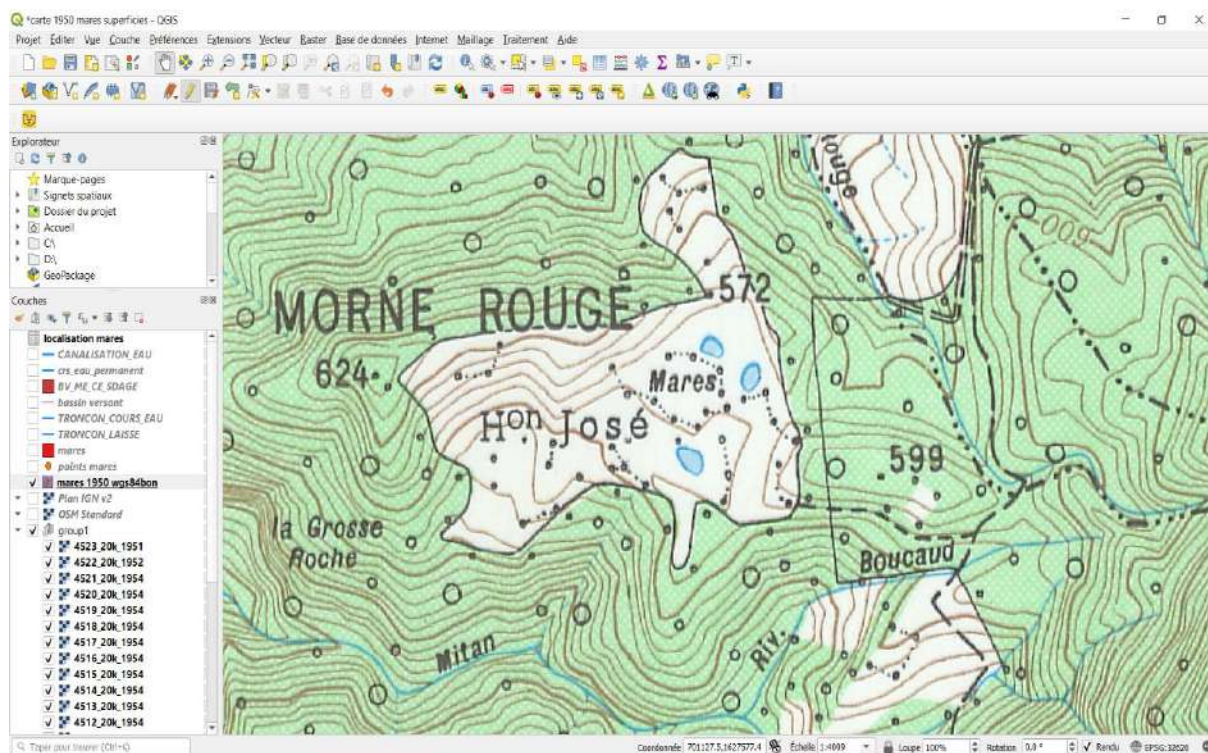


Figure 79 : Cartographie IGN 1/50 000 ème

C'est un fond cartographique complet représentant avec précision et lisibilité les objets géographiques anthropiques et naturels. En effet, cet outil géographique permet de visualiser les mares non visibles sur les photographies aériennes. Nous avons procédé de la même façon, en l'occurrence le calcul de la surface des mares et leurs localisations géographiques, de ce biotope aquatique pour la Martinique. (Figure 80).

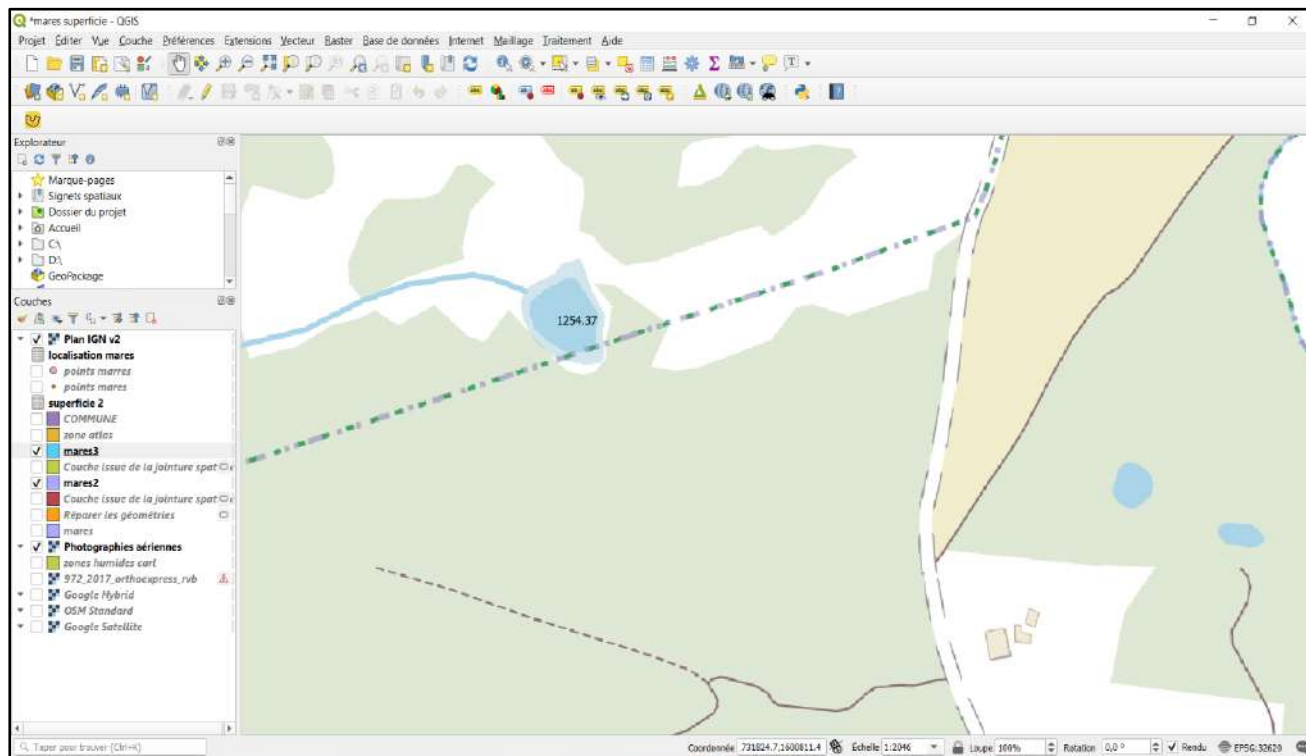


Figure 80 : Cartographie par plan IGN v2

4.3.2 La photographie aérienne flux WMS¹⁶-IGN

La photographie aérienne s'avère de plus en plus incontournable pour la cartographie. En effet, d'exploiter la surface du globe terrestre ; elle est aussi utile pour l'analyse des milieux physiques et biologiques, celle des paysages ruraux et urbains, etc. Sa capacité exploratoire est telle, qu'elle est en mesure de fournir également une perspective historique qui donne accès aux changements chronologiques dans les paysages (Joly, 1972).

Contrairement à la carte topographique, les entités qui y figurent ne sont ni généralisées ni exprimées sous forme de symboles. En effet, la photographie aérienne enregistre toutes les entités visibles à la surface de la Terre telles que vues d'En-haut. Pour autant, bien que les entités géographiques soient visibles, elles ne sont pas toujours faciles à identifier, car cette technique permet simplement d'enregistrer les entités géographiques anthropiques et naturelles en permanent changement qui se situent à la surface de la Terre.

Dans notre cas, la photographie aérienne (Figure 81) utilisée est issue d'une prise de vue datant du 13 février 2017. Elle est disponible en haute résolution (20 cm) et téléchargeable sur le site de Géoportail. Nous avons utilisé cet outil en complément, avec comme objectif de faciliter le

¹⁶ Web Map Service (WMS)

travail de prospection de terrain et d'être le plus exhaustive possible dans les mares inventoriées sur la carte IGN. Ce repérage supplémentaire permet également de valider, *sur le terrain*, l'existence des mares dénombrées sur les cartes IGN.

L'analyse de photos aériennes couleurs permet un repérage des mares de par leur forme (ovale, circulaire ou complexe) et par leurs couleurs. Elles sont reconnaissables par une texture lisse d'une eau stagnante ayant une couleur marron clair ou vert sombre (Figure 82).

Ces données sont d'autant plus pertinentes que les photos de ce territoire insulaire sont assez récentes (2017), et qu'elles permettent également d'obtenir une information plus actualisée. Toutefois, nous notons des limites :

- au moment d'une prise de vue pendant le carême, la mare peut être asséchée et ne pas apparaître sur la photo ;
- au moment d'une prise de vue durant l'hivernage, les mares peuvent aussi être cachées par le couvert forestier ;
- des changements des couleurs d'apparence de la mare selon son niveau d'eau : la mare remplie, a une couleur marron clair, et passe au vert lorsqu'elle est colonisée par de la végétation aquatique ;
- les mares de petite taille sont impossible d'être localisées à partir des photos en raison de la pixellisation trop importante, passé un certain seuil de zoom ;
- le relief cause l'apparition d'ombres sur les versants opposés qui entravent toute localisation de mares sur ces zones ;

En dépit de ces limites, ce cheminement constitue, néanmoins, une source de données importante et apparaît comme une bonne base de travail, en préalable au repérage de terrain. Les photographies ci-après attestent des informations que le chercheur est en mesure de recueillir, grâce à cette donnée de référence.

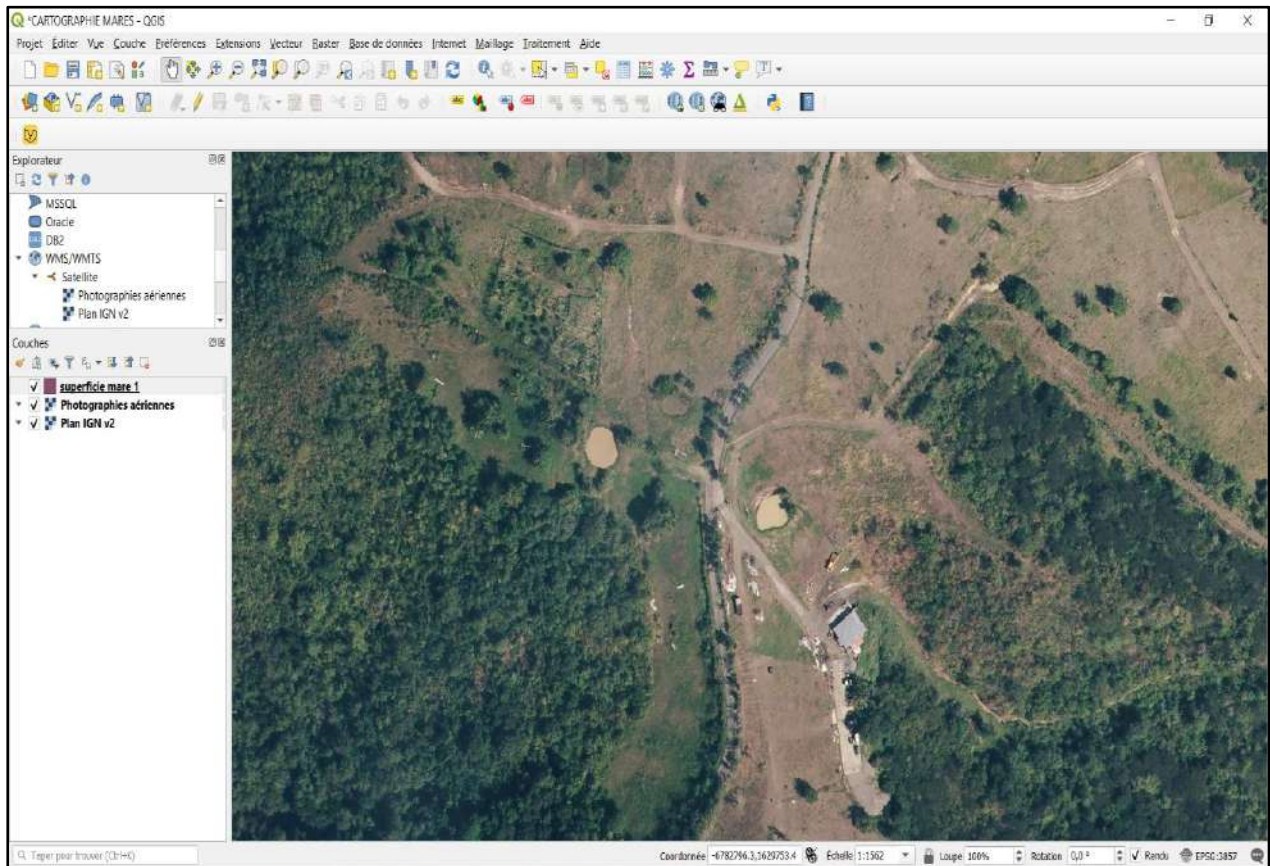


Figure 81 : Cartographie par photographies aériennes montrant deux surfaces d'eau de couleur marron clair (mares)

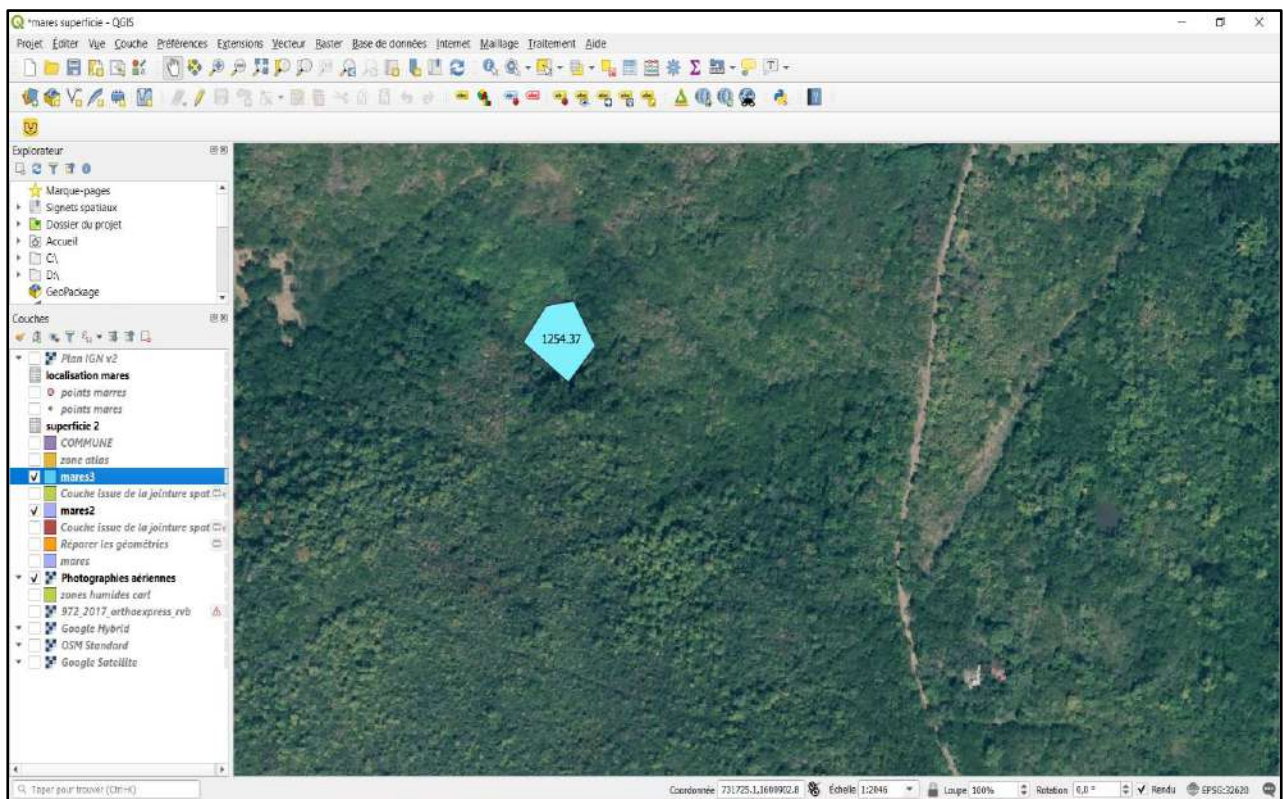


Figure 82 : Cartographie par photographies aériennes

L'utilisation de cartes topographiques et de photographies aériennes ne suffisant pas, pour localiser toutes les mares, parce que ces supports fournissent parfois des données partielles ; nous devons impérativement croiser les données récolter avec une approche du terrain.

4.4 Inventaires de terrain

La localisation des mares sur fond de carte IGN et photos aériennes nous a servi de base au travail de terrain. L'objectif est de réaliser un inventaire des mares le plus exhaustif possible pour :

- comparer les résultats avec ceux obtenus à partir de l'inventaire sur cartes de l'IGN 1950 et 2017 et photos aériennes ;
- dresser un état des lieux de la présence des mares sur cet espace insulaire.

- *Observation sur le terrain*

Nous avons effectué un premier repérage sur le terrain à partir des données à partir de cartes topographiques et photos aériennes. Par ailleurs, des informateurs nous ont fait part de l'existence de mares non répertoriés. Ensuite, nous avons choisi (comme susmentionné) trois zones géographiques réparties sur l'ensemble de la région : le Centre, le Nord et le Sud, afin de vérifier la conformité du nombre de mares recensées sur les fonds de cartes IGN et de mettre en place une prospection de terrain cohérente. Pour cet inventaire, les propriétaires n'ont pas été contactés, sauf hasard lors de rencontres sur le terrain. Au total, entre juillet 2018 et octobre 2021, nous avons prospecté sur le terrain 42 mares. Toutefois, 32 n'ont plus jamais été observées parce qu'elles ne correspondaient pas aux critères sélectionnés. Au total, 10 mares ont fait l'objet d'un relevé de différents paramètres biotiques et abiotiques afin de répondre aux différents objectifs fixés pour ce travail (5 mares au Nord et 5 mares au Sud).

- *Géolocalisation*

Nous avons eu recours à un outil de géolocalisation pour localiser avec précision toutes les mares prospectées. Nous les avons pointées à l'aide d'un GPS (Global Positioning System[©]) demarque Garmin[©] (Figure 83). Et nous avons relevé les coordonnées géographiques telles que la latitude, la longitude, l'altitude et parfois la superficie lorsque la situation morphologique de la mare le permettait. Ensuite, nous avons présenté les coordonnées latitude X et longitude Y dans un tableau Excel en vue d'une exploitation par le logiciel de cartographie Qgis[©] (Figure 84). Puis, les inventaires cartographiques ci-dessus ont été exploités pour dresser une carte de

localisation des mares à l'échelle 1/25000e au référentiel géographique : WGS_1984_UTM_20N de la répartition des mares à l'aide du logiciel QGIS[©] version 3.10.5.



Figure 83 : GPS

| Mares | Communes | Latitude | Longitude |
|-------|-----------------|----------|-----------|
| 1 | Ajoupa-Bouillon | 704291 | 1639631 |
| 2 | Ansès d'Arlet | 709022 | 1604202 |
| 3 | Ansès d'Arlet | 709047 | 1604269 |
| 4 | Ansès d'Arlet | 708900 | 1604247 |
| 5 | Ansès d'Arlet | 708889 | 1604134 |
| 6 | Ansès d'Arlet | 708900 | 1604276 |
| 7 | Ansès d'Arlet | 708928 | 1604270 |
| 8 | Ansès d'Arlet | 708922 | 1604273 |
| 9 | Ansès d'Arlet | 708724 | 1604368 |
| 10 | Ansès d'Arlet | 708636 | 1604314 |
| 11 | Ansès d'Arlet | 708795 | 1604571 |
| 12 | Ansès d'Arlet | 709004 | 1604669 |
| 13 | Basse-Pointe | 704152 | 1643785 |
| 14 | Gros-Morne | 710192 | 1630816 |
| 15 | Le Lamentin | 713397 | 1615387 |
| 16 | Le Marais | 734674 | 1601538 |
| 17 | Le Marais | 728359 | 1603455 |
| 18 | Sainte-Anne | 730192 | 1596029 |
| 19 | Sainte-Anne | 729658 | 1596884 |
| 20 | Sainte-Anne | 729679 | 1596846 |
| 21 | Sainte-Anne | 731557 | 1595543 |
| 22 | Sainte-Anne | 731747 | 1595070 |
| 23 | Sainte-Anne | 731762 | 1595428 |
| 24 | Sainte-Anne | 731924 | 1596232 |

Figure 84 : Tableau des données des localisations géographiques

- *Fiches de terrain*

Nous avons élaboré une « fiche de terrain » (Annexe 1) pour permettre le recueil des informations importantes de manière homogène, sur l'ensemble du territoire étudié. Pour la réalisation, nous nous sommes inspirés de fiches déjà existantes¹⁷, créées lors d'inventaires

¹⁷ <https://www.pramnormandie.com/jagis/observer-les-mares/consulté> le 20/03/2020

régionaux en France. Cependant, de nombreuses modifications ont été apportées de manière à adapter la fiche au contexte insulaire. La fiche de terrain comporte des données générales :

- Sa localisation (commune, lieu-dit), ses coordonnées GPS, la date de l'inventaire ;
- Ses caractéristiques de la mare : superficie, typologie, nature, usages, menaces, écologie...

Sélection des mares et suivi des mares

Nous avons sélectionné 10 mares fondées sur les critères suivants :

- L'accessibilité et la sécurité ;
- La zone géographique ;
- La présence obligatoire d'une végétation aquatique.

Ces milieux aquatiques ont fait l'objet de plusieurs types de suivi :

- *Suivi photographique*

À chacune de nos visites, nous photographions une vue d'ensemble de la mare pour plusieurs motifs :

- Information précise de la dynamique naturelle de la mare (variation du niveau d'eau).
- Mémorisation des traces d'événements particuliers (mare sèche ; mare remplie d'eau).

C'est en ce sens que le suivi photographique reste un outil précieux pour le suivi de notre travail (Figures 85 et 86).



Figure 85 : Mare de la commune de Schoelcher (novembre 2018) ©Peguy Major



Figure 86 : Mare de la commune de Schoelcher (avril 2021) ©Peguy Major



Figure 87 : Mare de la commune des Anses d'Arlet (novembre 2018) ©Peguy Major



Figure 88 : Mare de la commune des Anses d'Arlet (Juin 2021) ©Peguy Major

- *Suivi physico-chimique*

La qualité de l'eau et les variations des différents éléments, qui composent la mare, sont importants pour toute analyse d'écosystème aquatique. Cependant, il n'est pas question de prendre la place des hydrobiologistes spécialisés dans ce domaine, ou bien celle des laboratoires d'analyses qui exercent cette activité dans les meilleures conditions possibles.

Dans notre travail de recherche, l'objectif est essentiellement d'obtenir des éléments d'informations, aussi fiables que possibles, sur quelques caractéristiques physico-chimiques générales de ce biotope aquatique analysé. Ce sont des mesures physico-chimiques les plus fréquemment pratiquées dans le cadre de l'évaluation des milieux aquatiques. Il s'agit de la température de l'eau qui apporte une information ponctuelle et qui influence en outre la valeur des autres analyses ; du pH qui mesure l'acidité de l'habitat : < 7 acidité ; 7 neutralité ; > 7 alcalinité (Tucker et D'Abramo, 2008) ; et de la conductivité qui permet une bonne approche de la minéralisation totale de l'eau.

Concernant le suivi de nos 10 mares, il est essentiel de respecter l'ordre initialement établi, c'est-à-dire de suivre toujours le même enchaînement afin que, pour chacune des mares concernées, les analyses soient faites à la même heure. L'ordre des paramètres analysés a été le suivant :

T en °C, pH et conductivité. Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'un PH mètre (Figure 89) et d'un conductimètre (Figure 90). Les mesures de la température, du pH, et de la conductivité

sont réalisées immédiatement sur le site directement dans la mare. Et nous les notons sur la fiche de terrain.



Figure 89 : pH-mètre (Digital Instrument PH-208©)

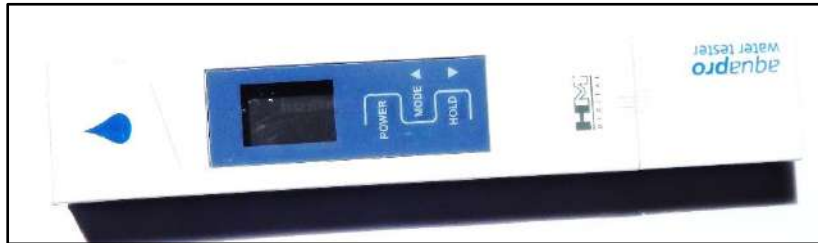


Figure 90 : Conductimètre

- *Niveau de l'eau*

Nous avons estimé visuellement de manière ponctuelle (une fois tous les deux mois) le niveau d'eau des mares grâce à une échelle de remplissage relatif. Celle-ci mesure la proportion du volume total de la mare occupée : 0 % mare sèche ; 25 % peu rempli ; 50 % à moitié rempli ; 100 % totalement rempli. L'état hydrologique de chaque mare a été caractérisé par une observation personnelle lors de chaque visite du site, en regroupant chaque mare dans l'une des trois catégories suivantes (Figures 91,92 et 93) :

1. *Phase aquatique* – Les mares contenaient de l'eau stagnante qui couvrait la base, avec cependant une végétation émergente.

2. *Phase transitoire* – Les mares ne contenaient pas d'eau stagnante, la couche de base étant exposée. Cependant, les sédiments et la couche végétale étaient encore saturés et humides au toucher.

3. *Phase sèche* – Les mares ne contiennent pas d'eau stagnante les sédiments et la végétation sont maintenant secs au toucher.



Figure 91 : Phase 1 (2021)



Figure 92 : Phase 2 (2021)



Figure 93 : Phase 3 (2019)

4.5 Inventaire et suivi de la flore aquatique

La végétation est l'un des facteurs prépondérants du fonctionnement de l'écosystème mare. Il n'existe pas une méthode uniforme pour décrire et expertiser la végétation d'une mare. À ce stade de notre protocole, l'objectif est de dresser l'inventaire des espèces présentes dans les mares et de réaliser, en plus, une carte des espèces invasives.

Dans cette perspective, muni d'un équipement spécialisé, nous entrons dans la mare et nous notons directement l'ensemble des plantes que nous rencontrons, sans indiquer leur répartition ni leur recouvrement. C'est un simple relevé en présence/absence. Cette méthode permet d'établir un état des lieux très sommaire, de la mare.

En premier lieu, nous réalisons un relevé exhaustif de toutes les espèces végétales présentes, selon la méthode de Braun-Blanquet (1932) (Tableau 17), quelle que soit la taille des mares (Major et Claude, 2021). Un indice d'abondance-dominance allant de + à 5 a été attribué à chaque espèce. Puis, pour chaque espèce recensée, nous notons le type biologique, selon la classification de Raunkiaer (1934).

La détermination des espèces est effectuée principalement à l'aide de la Flore de Fournet (2002a ; 2002b), mais aussi à l'aide d'un rapport public (cf. « *Contribution à l'inventaire de la flore dulçaquicole de la Martinique : les « espèces exotiques envahissantes* », Maddi, 2014).

Tableau 16 : Des coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet

| Coefficient | Abondance | Recouvrement |
|-------------|---------------------------------------|--------------|
| + | Individus peu abondants | Moins de 1% |
| 1 | Individus assez abondants | 1 à 5 % |
| 2 | Individus abondants ou très abondants | 5 à 25 % |
| 3 | Nombre d'individus quelconque | 25 à 50 % |
| 4 | Nombre d'individus quelconque | 50 à 75 % |
| 5 | Nombre d'individus quelconque | 75 à 100 % |

4.6 Traitement et analyse des données

Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse factorielle des correspondances (AFC), et d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) basée sur la distance euclidienne. Ces analyses statistiques ont permis de comparer les différents relevés en fonction de leur composition en espèces et d'établir les similitudes et dissemblances floristiques entre les relevés (Lebart et Fénelon, 1971 ; Guinochet, 1973 ; Dervin, 1990). Nous avons traité nos données avec le logiciel XLSTAT¹⁸. Les inventaires ont été exploités pour dresser des cartes de localisation des mares à l'échelle 1/25000e au référentiel géographique : WGS_1984_UTM_20N de la répartition des mares à l'aide du logiciel QGIS version 3.10.5.

¹⁸ <https://www.xlstat.com/fr/>

PARTIE III : RÉSULTATS

CHAPITRE 5 : RÉSULTATS

5.1 Cartographies à l'échelle de la zone d'étude

L'ensemble des analyses cartographiques a été réalisée sous Qgis® version 3.10.5. L'étude dresse un inventaire exhaustif en 1950, en 2017 et aujourd'hui sur la localisation et sur la superficie des mares de notre zone d'étude. Ces données ont été intégrées dans le système d'information géographique (Qgis® version 3.10.5) et dans une base donnée Excel. En vue de l'analyse diachronique, nous avons dressé des cartes, des représentations graphiques et des tableaux.

5.1.1 Localisation des mares

Nous avons travaillé à partir d'une collection d'image cartographique numérique au nombre de 23 dalles¹⁹ (ou tuiles) issus d'un fond cartographique au 1 : 50 000^e. Cette analyse cartographique nous a permis de localiser des mares uniquement sur douze dalles (Annexes 1 A et 1 B) soient sur dix-huit communes (*Anses d'Arlet ; Basse-Pointe ; Case-Pilote ; Diamant ; Ducos ; François ; Lamentin ; Marin ; Rivière-Pilote ; Rivière-Salée ; Robert ; Sainte-Anne ; Saint-Esprit ; Sainte-Luce ; Schoelcher ; Trinité ; Trois Ilets ; Vauclin*). Le tableau 18 donne le nombre de mare par dalle et par zone géographique.

Les résultats de cet inventaire cartographique obtenus donnent un aperçu du nombre de mares en 1950 (Figure 106). Il s'estime à 262 mares dans notre espace insulaire (Tableau 18). Sur les 262 mares, 249 sont situées au Sud et 13 au Nord (Figure 94 à 105). Les dalles 4502 (Figure 94), 4511 (Figure 95), 4513 (Figure 96) et 4514 (Figure 97) sont situées au nord de la Martinique. Nous avons dénombré au total 11 mares.

La dalle 4516 (Figure 98) localise à la fois 2 mares au nord et 8 au sud. Les dalles 4517 (Figure 99), 4518 (Figure 100), 4519 (Figure 101), 4520 (Figure 102), 4521 (Figure 103), 4522 (Figure 104) et 4523 (Figure 105) représentent le sud de l'île et nous avons recensé 241 mares.

Ces données nous ont permis de réaliser un petit atlas des mares de la Martinique²⁰ à l'aide Qgis (Figure 107).

¹⁹ Une dalle ou une tuile en géomatique : Les données rasters ou images sont généralement des fichiers lourds. Pour faciliter leur affichage et leur traitement, l'image est décomposée en dalles (ou tuiles) de dimensions inférieures. On parle de tuilage de données spatiales.

²⁰ Carte détaillée

Tableau 17 : Distribution spatiale des mares en Martinique d'après la carte IGN de 1950

| Dalles | Nombre de mares sur carte IGN | Localisation géographique |
|--------|-------------------------------|---------------------------|
| 4502 | 1 | Nord |
| 4511 | 3 | Nord |
| 4513 | 5 | Nord |
| 4514 | 2 | Nord |
| 4516 | 10 | Nord et Sud ²¹ |
| 4517 | 26 | Sud |
| 4518 | 21 | Sud |
| 4519 | 32 | Sud |
| 4520 | 36 | Sud |
| 4521 | 28 | Sud |
| 4522 | 93 | Sud |
| 4523 | 5 | Sud |
| Total | 262 | Sud |



Figure 94 : Localisation des mares à Basse-Pointe (dalle 4502)

²¹ 2 mares au Nord (Le Robert) et 8 au sud (Le François)

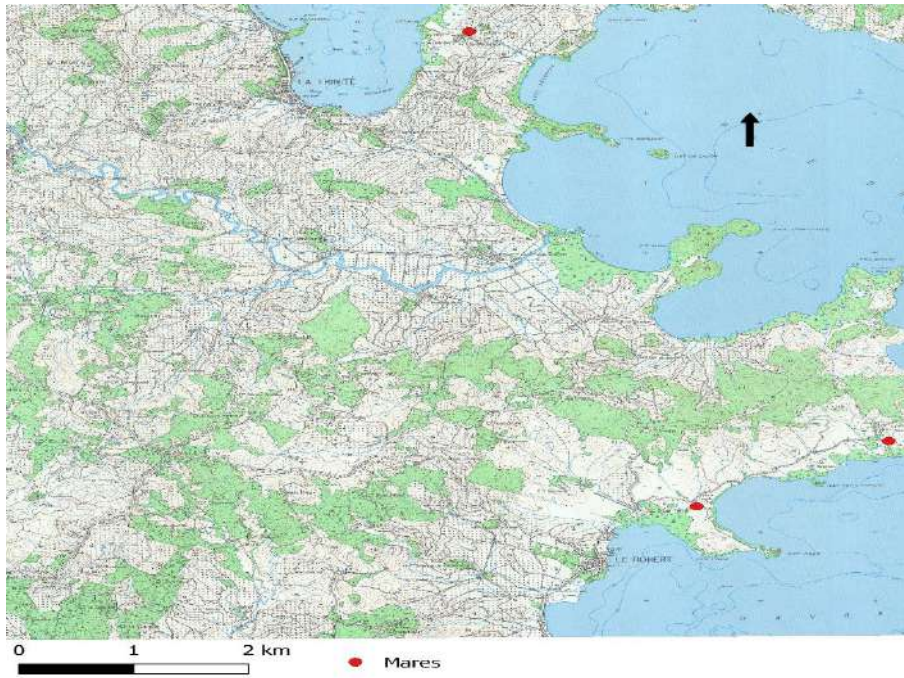


Figure 95 : Localisation des mares à Trinité et au Robert (dalle 4511)

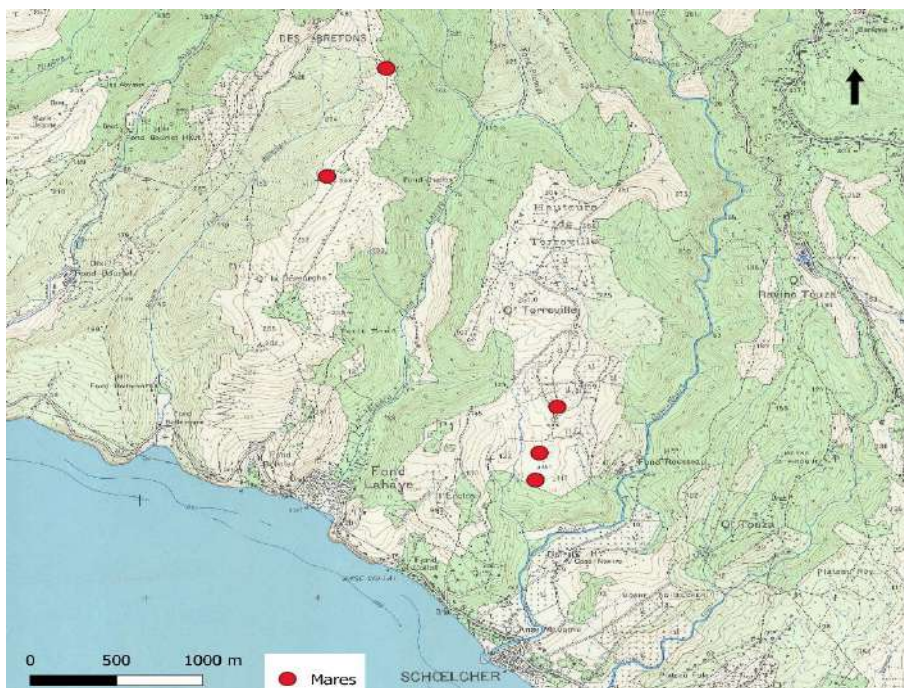


Figure 96 : Localisation des mares à Schoelcher et à Case-Pilote (dalle 4513)



Figure 97 : Localisation des mares à Fort-de-France et au Lamentin (dalle 4514)

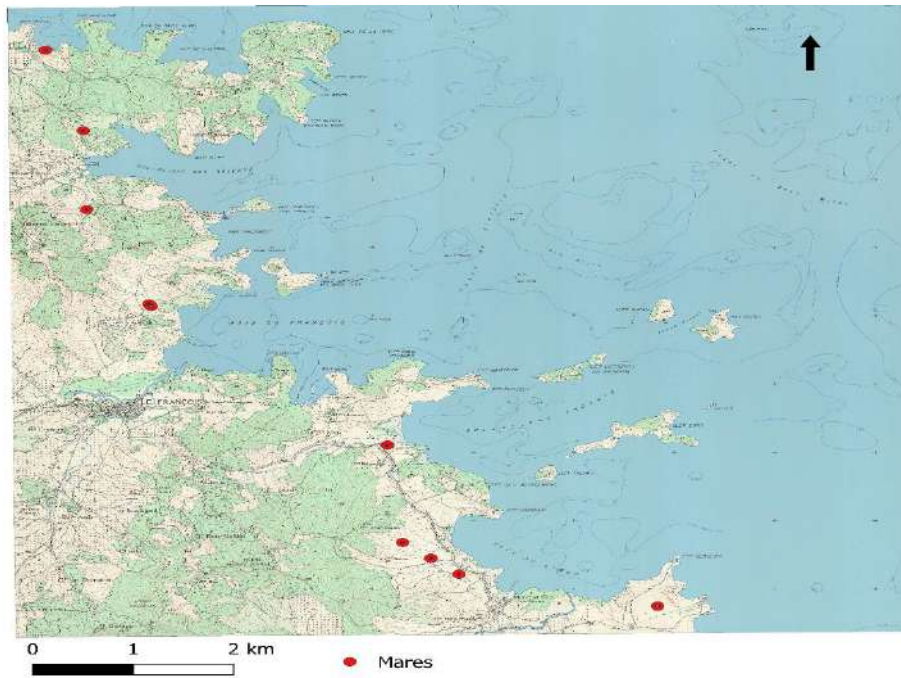


Figure 98 : Localisation des mares au François et au Robert (dalle 4516)

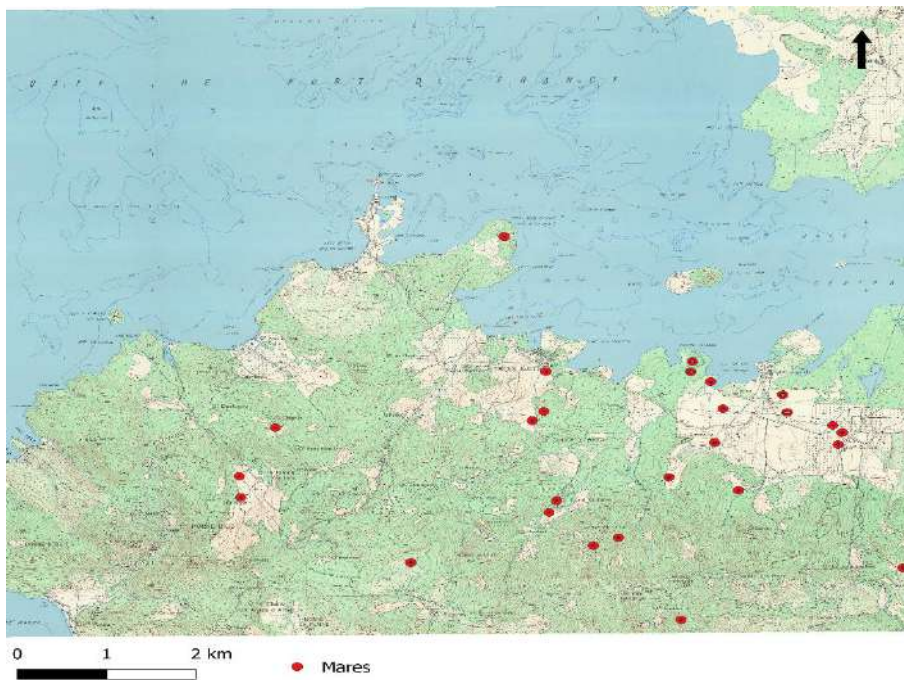


Figure 99 : Localisation des mares aux Anses d'Arlet, au Diamant et à Rivière-Salée (dalle 4517)

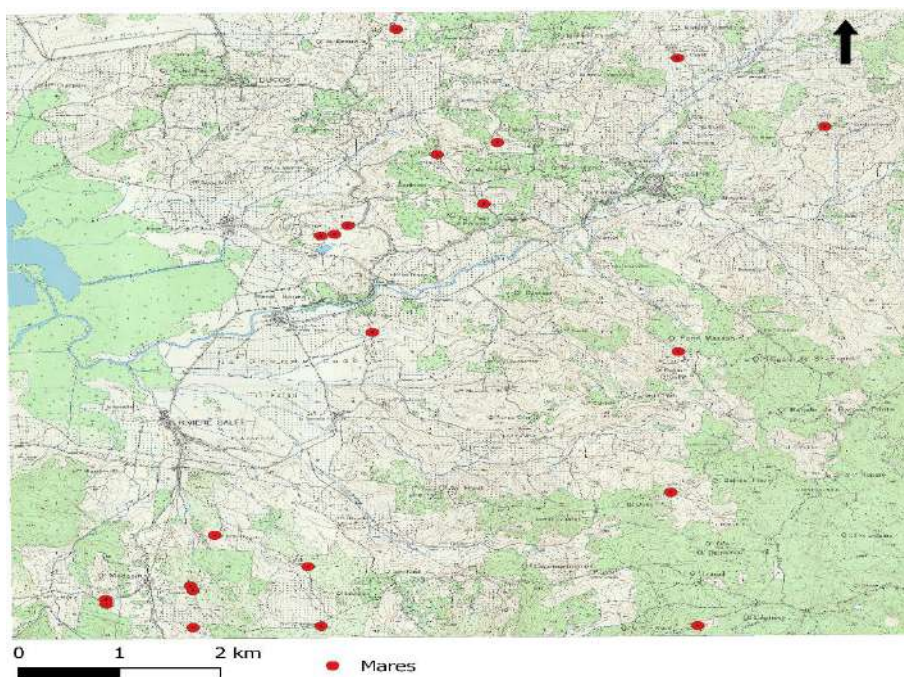


Figure 100 : Localisation des mares à Ducos, au Saint-Esprit, à Rivière-Salée et à Sainte-Luce (dalle 4518)

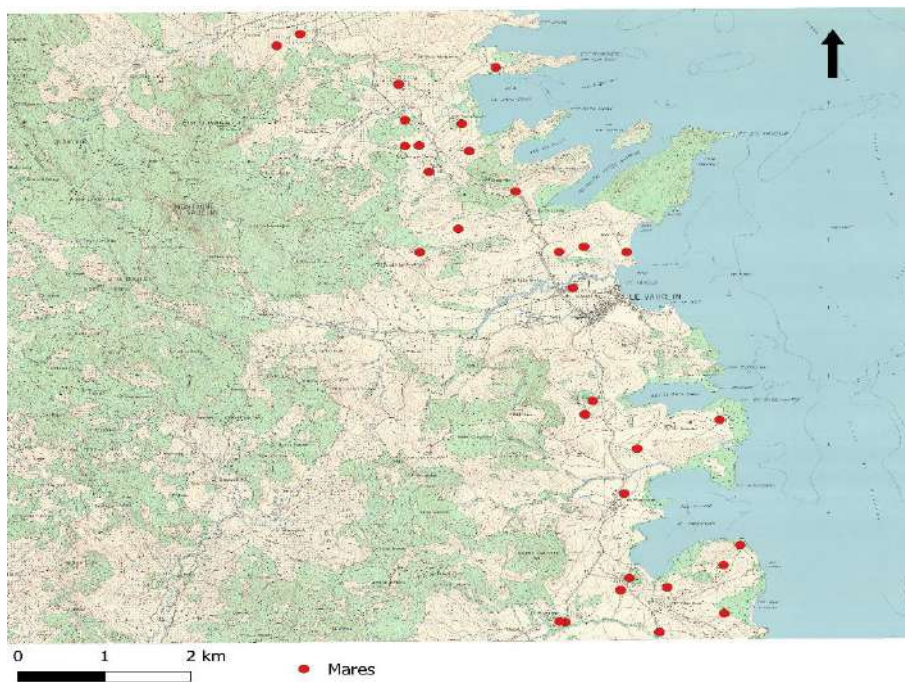


Figure 101 : Localisation des mares au Vauchamps, François, Rivière-Salée et au Marin (dalle 4519)



Figure 102 : Localisation des mares aux Anses d'Arlet et au Diamant (dalle 4520)

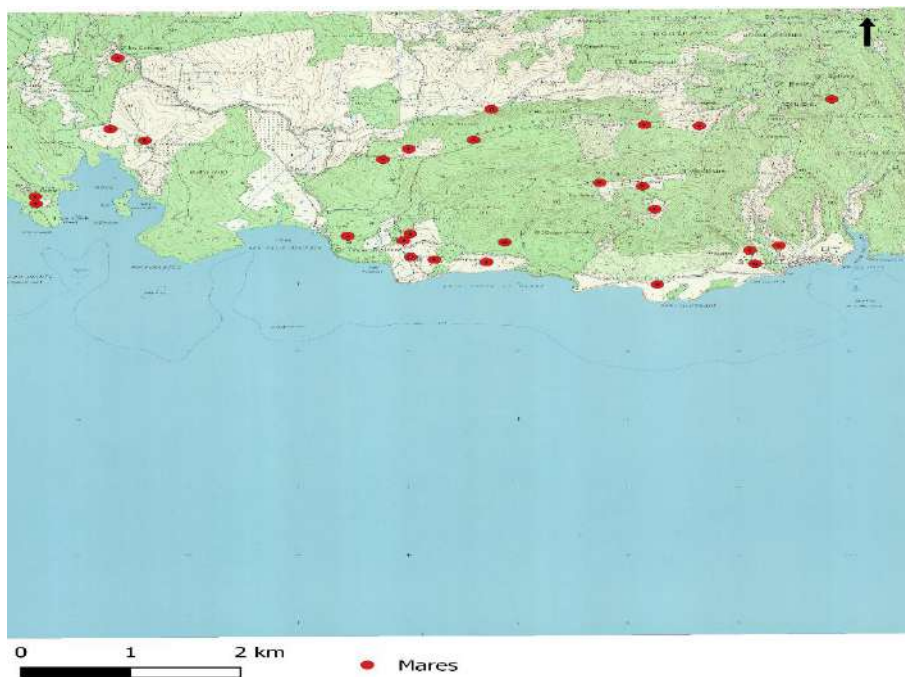


Figure 103 : Localisation des mares au Diamant et à Sainte-Luce (dalle 4521)

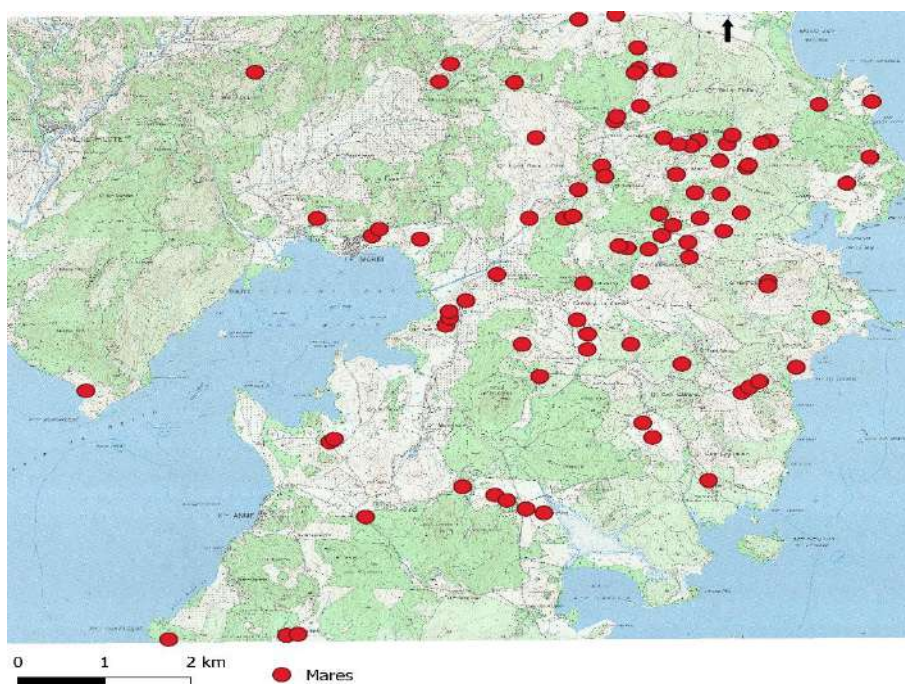


Figure 104 : Localisation des mares à Sainte-Luce, Rivière-Pilote, Le Marin et Sainte-Anne (dalle 4522)



Figure 105 : Localisation des mares à Sainte-Anne (dalle 4523)

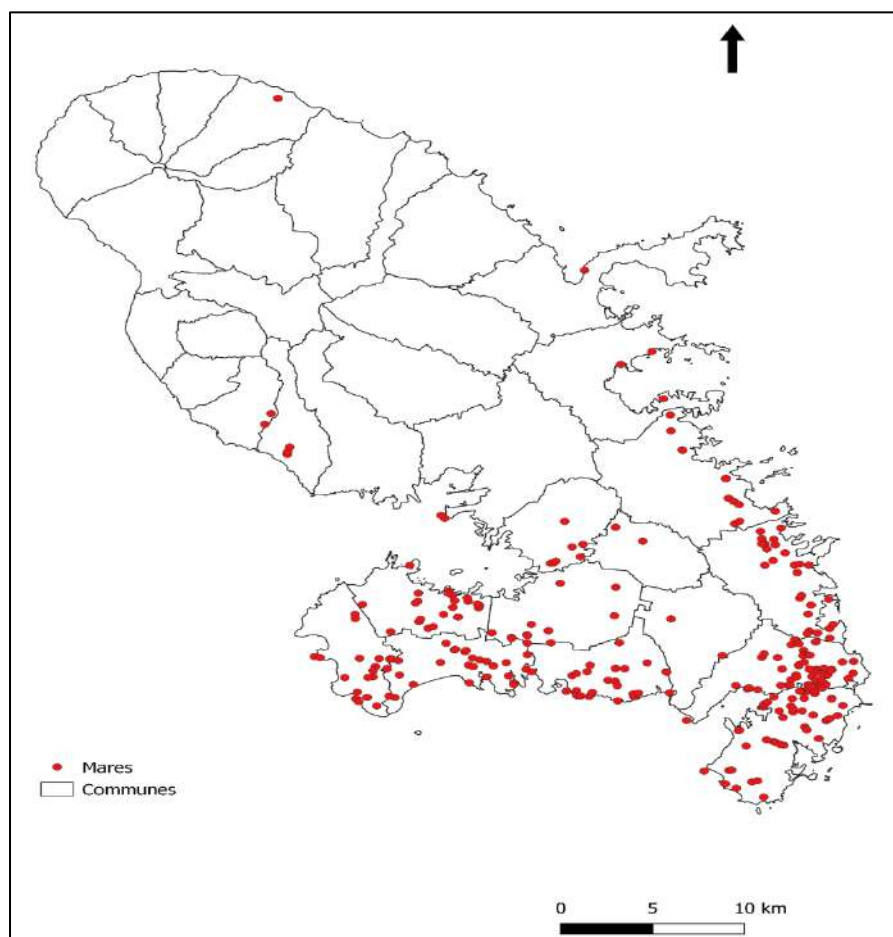
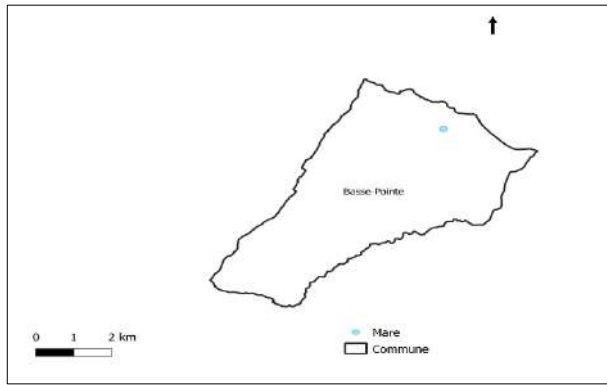
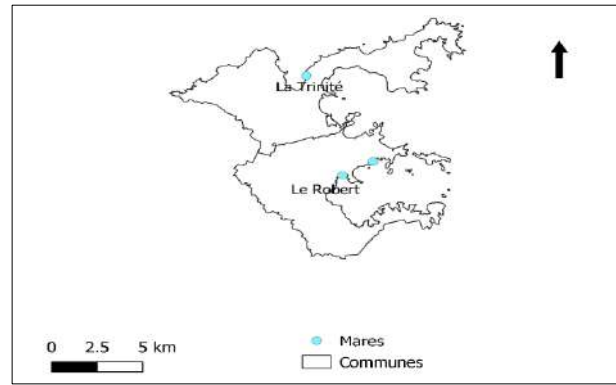


Figure 106 : Cartographie des mares en 1950

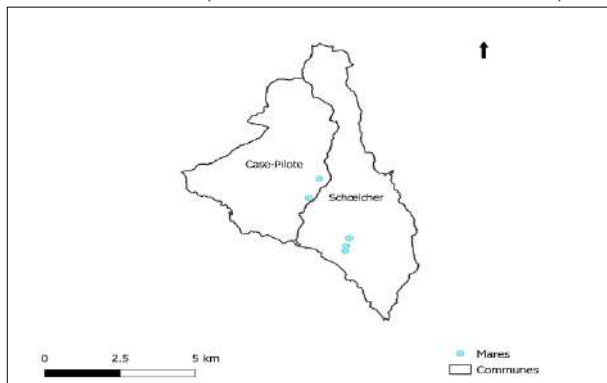
(Réalisation Peguy Major©)



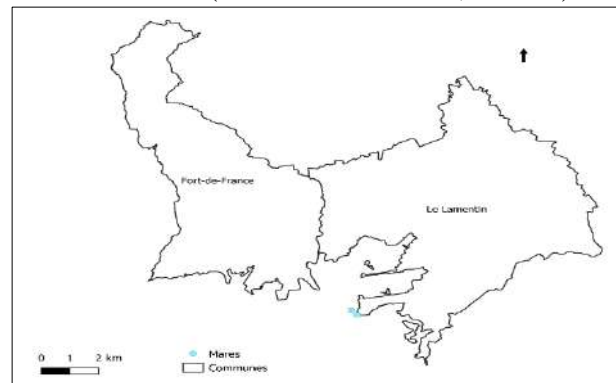
Dalle 4502 (Commune de Basse-Pointe)



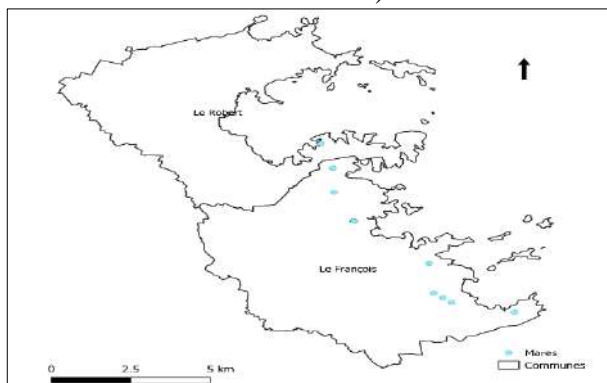
Dalle 4511 (Communes Trinité, Robert)



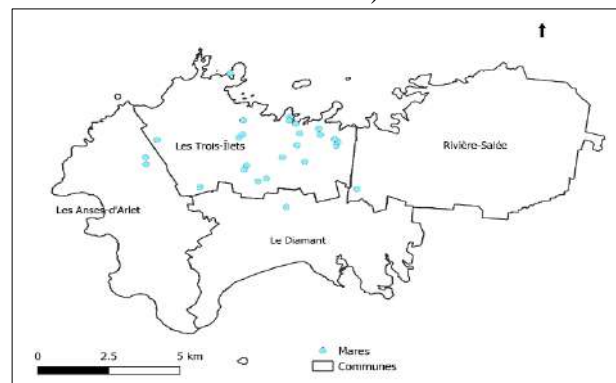
Dalle 4513 (Communes Case-Pilote, Schoelcher)



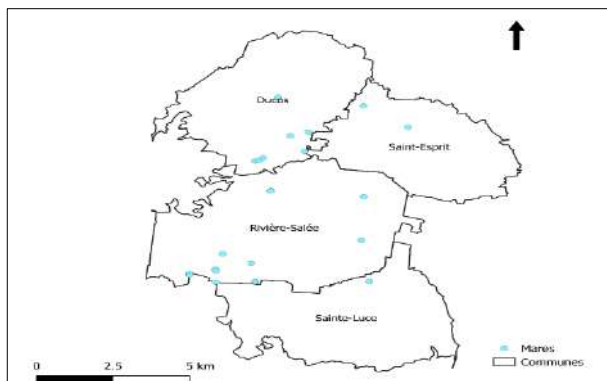
Dalle 4514 (Communes Fort-de-France, Le Lamentin)



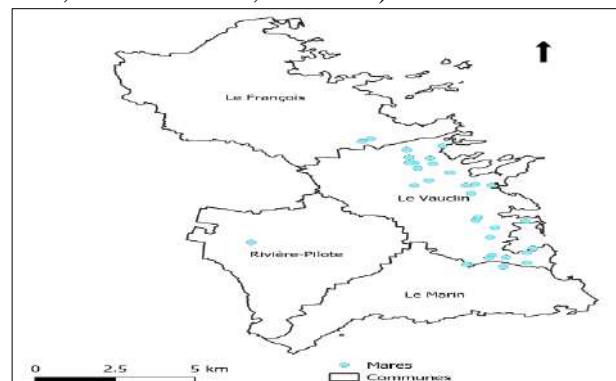
Dalle 4516 (Communes Robert, Le François)



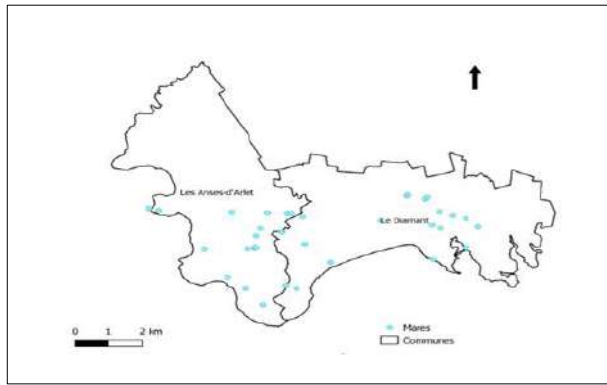
Dalle 4517 (Communes Anses d'Arlet, Trois-îlets, Rivière-Salée, Diamant)



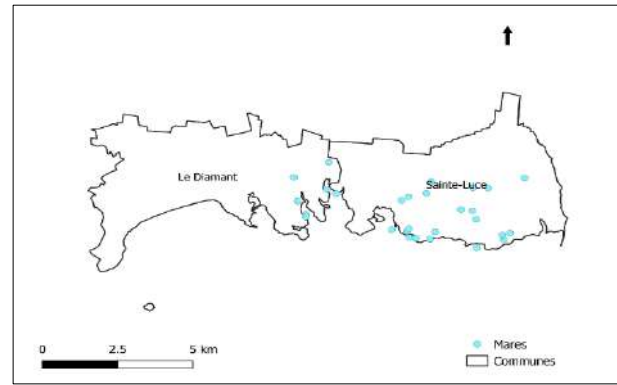
Dalle 4518 (Communes Ducos, Saint-Esprit, Rivière-Salée, Sainte-Luce)



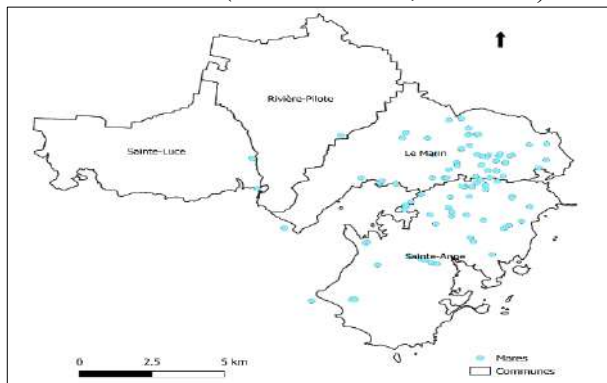
Dalle 4519 (Communes François, Vauclin, Rivière-Pilote, Le Marin)



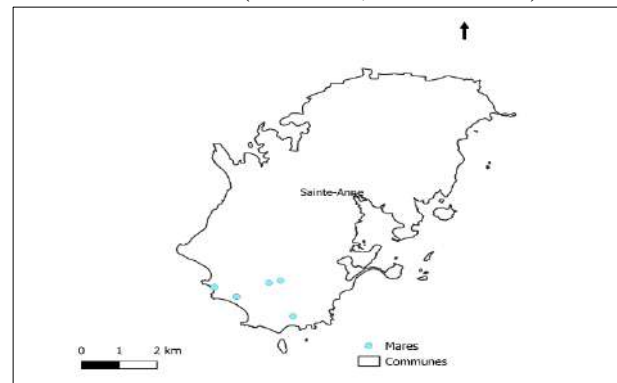
Dalle 4520 (Anses d'Arlet, Diamant)



Dalle 4521 (Diamant, Sainte-Luce)



Dalle 4522 (Communes Sainte-Luce, Rivière-Pilote, Le Marin, Sainte-Anne)



Dalle 4523 (Commune Sainte-Anne)

Figure 107 : Atlas des mares selon la carte de 1950

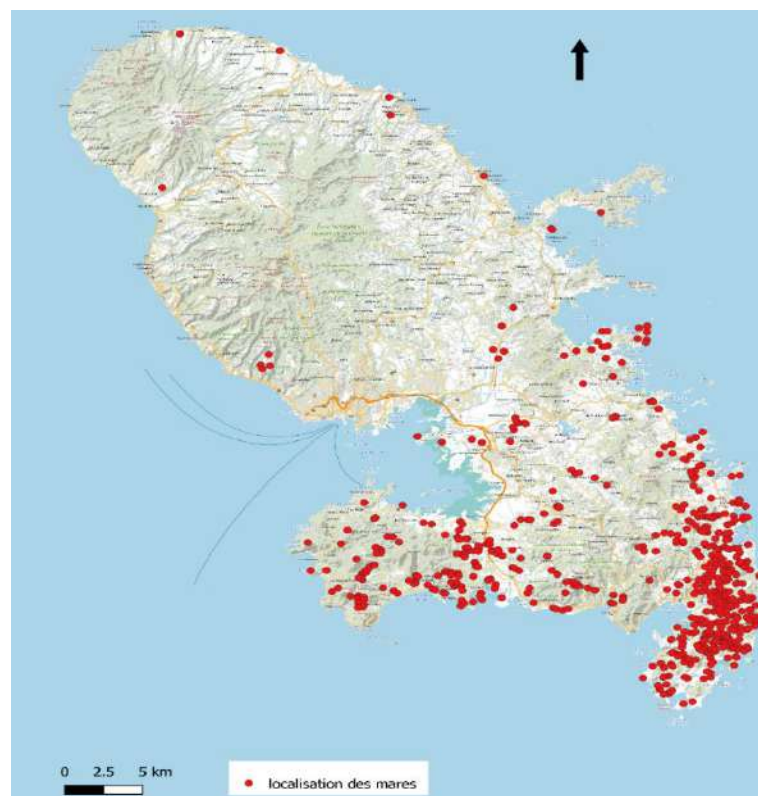


Figure 108 : Cartographie des mares selon la carte plan IGN v2 en 2017

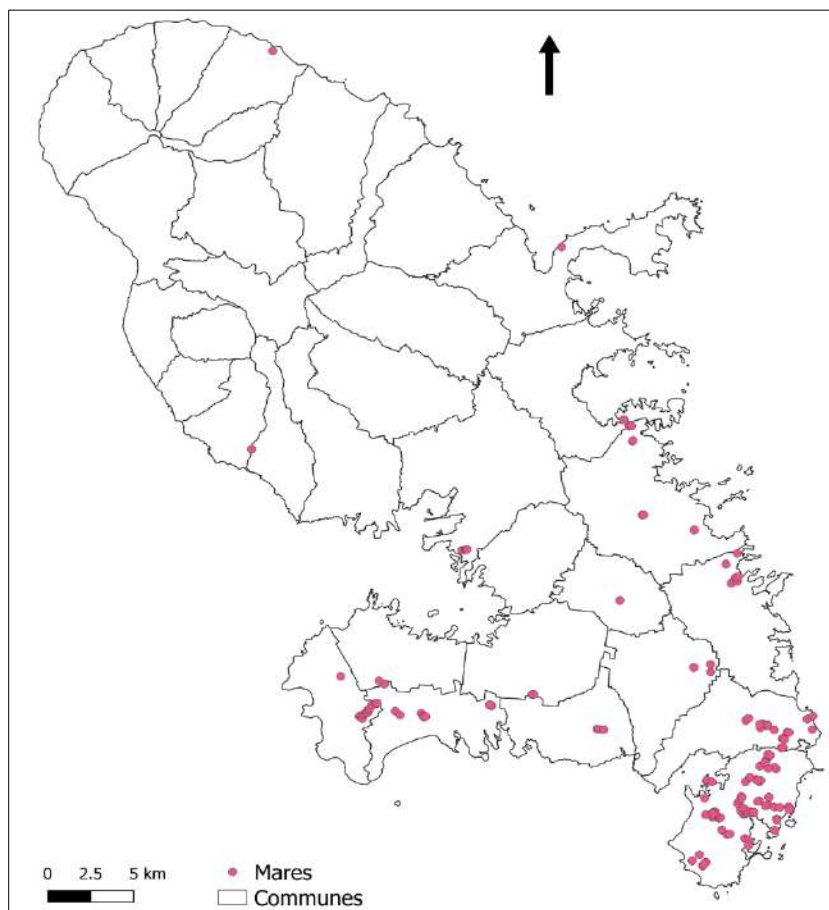


Figure 109 : Localisation des mares d'après la photographie aérienne (réalisation Peguy Major)

Les figures 108 et 109 permettent d'avoir une approche estimative du nombre de mares en 2017 (618) et aujourd'hui (133). Nous avons remarqué que des mares présentes en 1950, ne sont pas apparues en 2017 (Figures 110 à 113).



Figure 110 : Localisation de la mare Capron présente en 1950

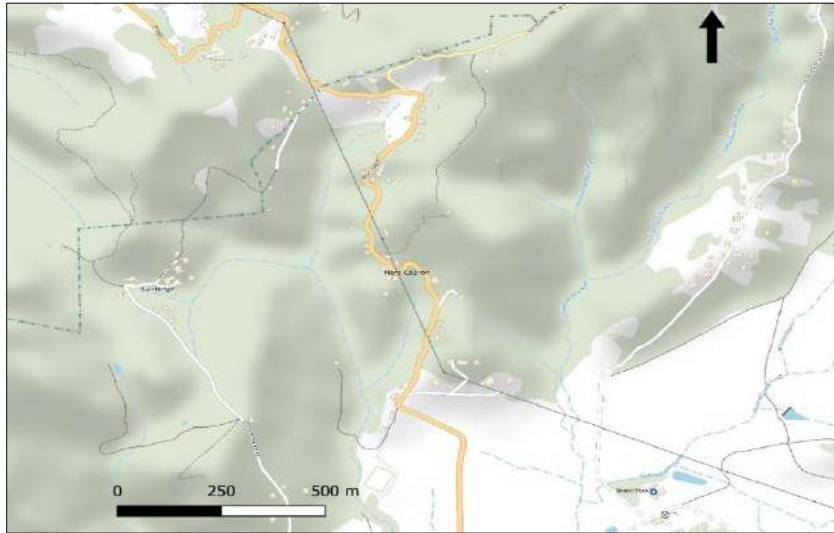


Figure 111 : Mare Capron disparue en 2017

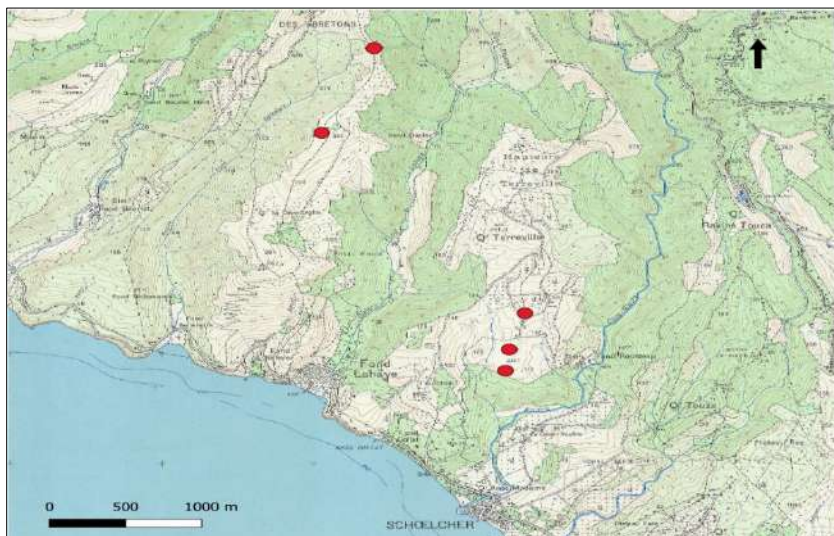


Figure 112 : Localisation des mares dans la ville de Schoelcher en 1950



Figure 113 : Localisation des mares dans la ville de Schoelcher en 2017

La figure 114 permet de visualiser la quantité de mares réparties sur notre espace insulaire. En effet, le décalage important est constaté entre le nord et le sud de l'île. La dalle 4522 représente certaines communes du Sud de la Martinique avec 93 mares.

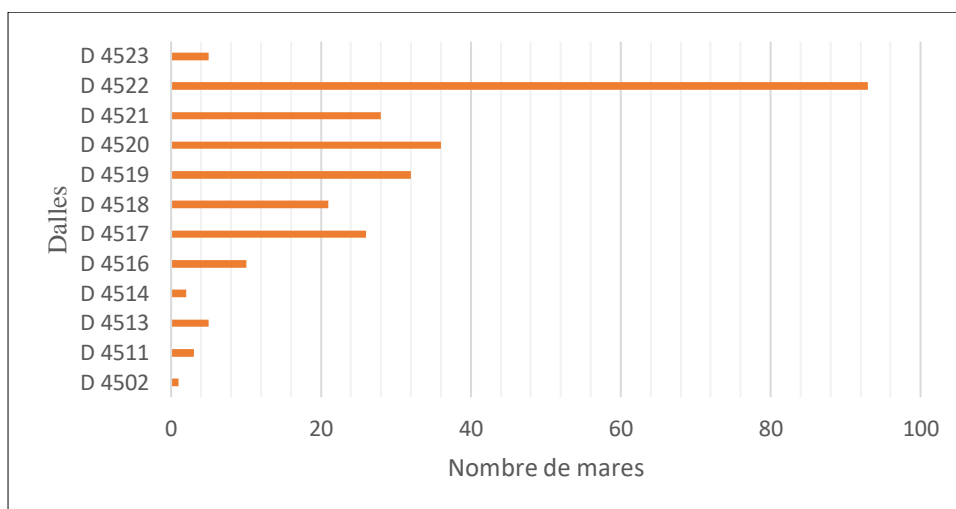


Figure 114 : Graphique du nombre de mares sur l'île en 1950

La figure 115 représente le nombre de mares en pourcentage. Nous distinguons :

- Un taux faible compris entre 1 et 4 %
- Un taux moyen compris entre 8 et 14 %
- Un taux fort de 35 %

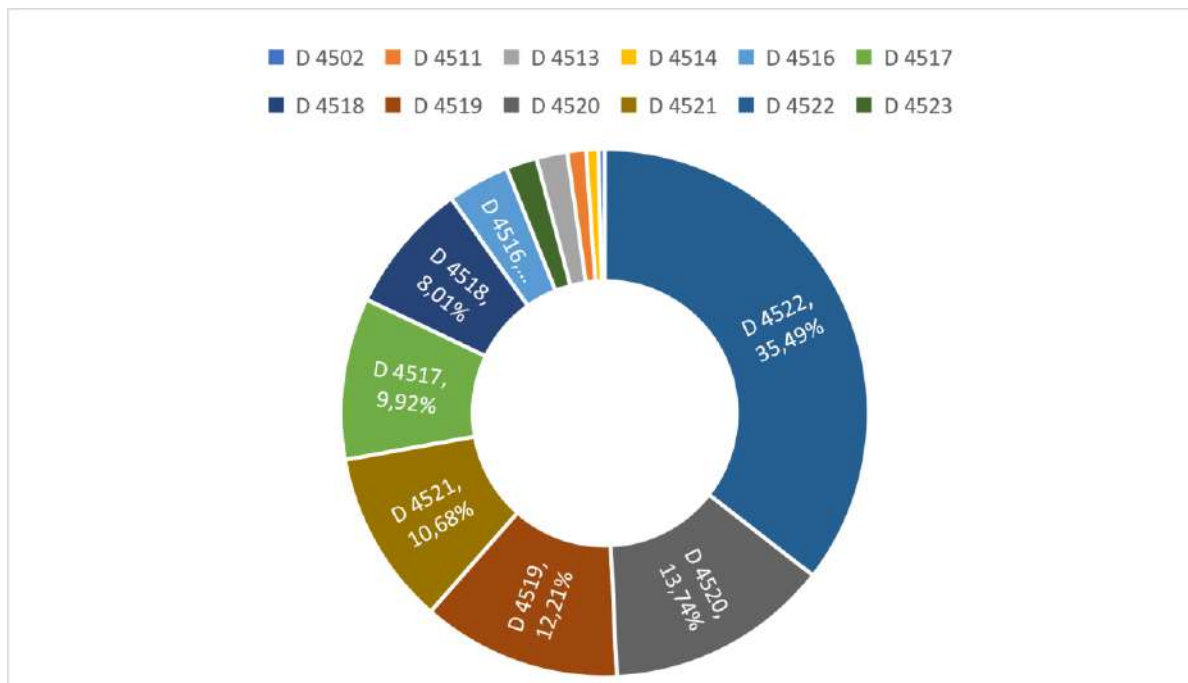


Figure 115 : Nombre de mares en pourcentage en 1950

5.1.2 Répartition et superficie selon la zone géographique

La surface des mares répertoriées s'étend de 60 à 3500 m². Plus de la moitié des mares ont une surface inférieure à 1000 m² (Figures 116 ; 119 et 121).

La superficie des mares varie considérablement. En effet, nous constatons que la classe de superficie [0-500] concerne 190 mares soit 72 % du nombre de mare total estimé en 1950 (Tableaux 19 et 20). Ce sont de petites mares. Pour les autres classes de superficie plus importante, les mares sont peu nombreuses. D'un point de vue quantitatif, les dimensions les plus petites entre 60 et 500 m² dominent principalement dans les communes du Sud (Figure 116).

Les résultats de la carte topographique IGN plan v2 au 1/25000^e montre que la majorité des mares est localisée dans la Sud comme en 1950. Ce constat est valable aussi pour la superficie (Figure 118). Nous notons qu'elles sont faiblement situées au Nord (Figure 108). Une fois encore, nous observons le même constat que pour la carte IGN de 1950. La majorité des mares implanté au Sud, ont de petites surfaces, au nombre de 460 entre 0 et 500 m² (Tableau 21). Elle représente 74 % du nombre de mares estimé sur cette carte (Figure 119).

Nous remarquons que les moyennes dimensions de classe [500-1000] sont également localisées au Sud de notre espace insulaire avec 16 % du total des mares estimé (Figure 120). Nos données acquises à partir de la photographie aérienne nous montre sensiblement la même tendance d'un point de vue spatial. L'essentiel des mares se situent au Sud. Elles sont insuffisantes au Nord (Figure 108).

Nous avons inventorié 133 mares (Figure 109) de superficie comprise entre 0 et 3000 m² (Tableau 22). Plusieurs différences sont nettement visibles. Les dimensions entre 0 et 500 m² sont beaucoup plus importante avec 73 mares (Figure 119) et correspondent à 55 % du nombre de mares estimé (Figure 122).

Tableau 18 : Répartition de la superficie des mares par classe

| Superficie (en m ²) | Nombre de mares | Fréquences |
|---------------------------------|-----------------|------------|
| [0 – 500] | 190 | 73 % |
| [500 – 1000] | 52 | 19 % |
| [1000 – 1500] | 7 | 3 % |
| [1500 – 2000] | 6 | 2 % |
| [2000 – 2500] | 3 | 1 % |
| [2500 – 3000] | 2 | 1 % |
| [3000 – 3500] | 2 | 1 % |
| Total | 262 | 100 % |

Tableau 19 : Nombre de mares par dalles en fonction de la superficie

| Superficies | 4502 | 4511 | 4513 | 4514 | 4516 | 4517 | Nbre de mares par dalle |
|---------------|------|------|------|------|------|------|-------------------------|
| [0 – 500] | 0 | 3 | 5 | 2 | 4 | 16 | 30 |
| [500 – 1000] | | | | | 5 | 6 | 11 |
| [1000 – 1500] | | | | | 1 | | 1 |
| [1500 – 2000] | | | | | | 2 | 2 |
| [2000 – 2500] | 1 | | | | | 1 | 2 |
| [2500 – 3000] | | | | | | | 0 |
| [3000 – 3500] | | | | | | 1 | 1 |
| Superficie | 4518 | 4519 | 4520 | 4521 | 4522 | 4523 | |
| [0 – 500] | 19 | 16 | 28 | 23 | 72 | 2 | 160 |
| [500 – 1000] | 2 | 8 | 6 | 4 | 19 | 2 | 41 |
| [1000 – 1500] | | 2 | 1 | 1 | 2 | | 6 |
| [1500 – 2000] | | 4 | | | | | 4 |
| [2000 – 2500] | | 1 | | | | | 1 |
| [2500 – 3000] | | 1 | 1 | | | | 2 |
| [3000 – 3500] | | | | | | 1 | 1 |



Figure 116 : Graphique du nombre de mares en fonction de la superficie (en m2)

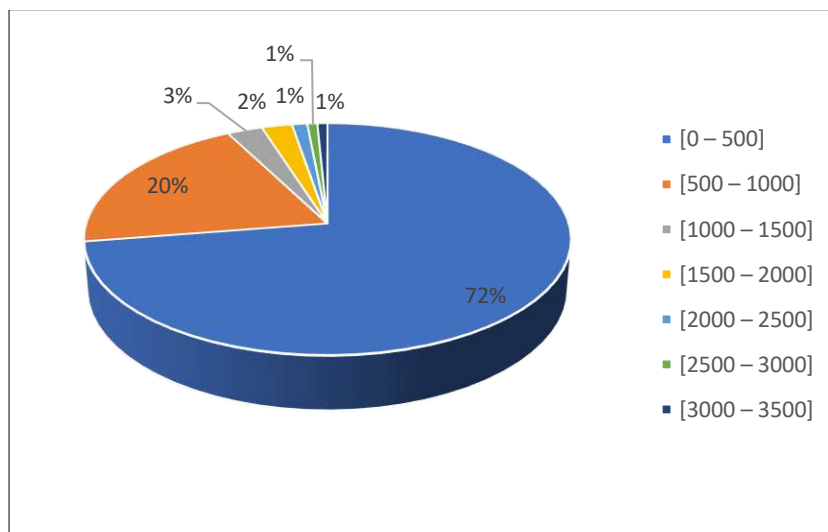


Figure 117 : Pourcentage de la superficie des mares

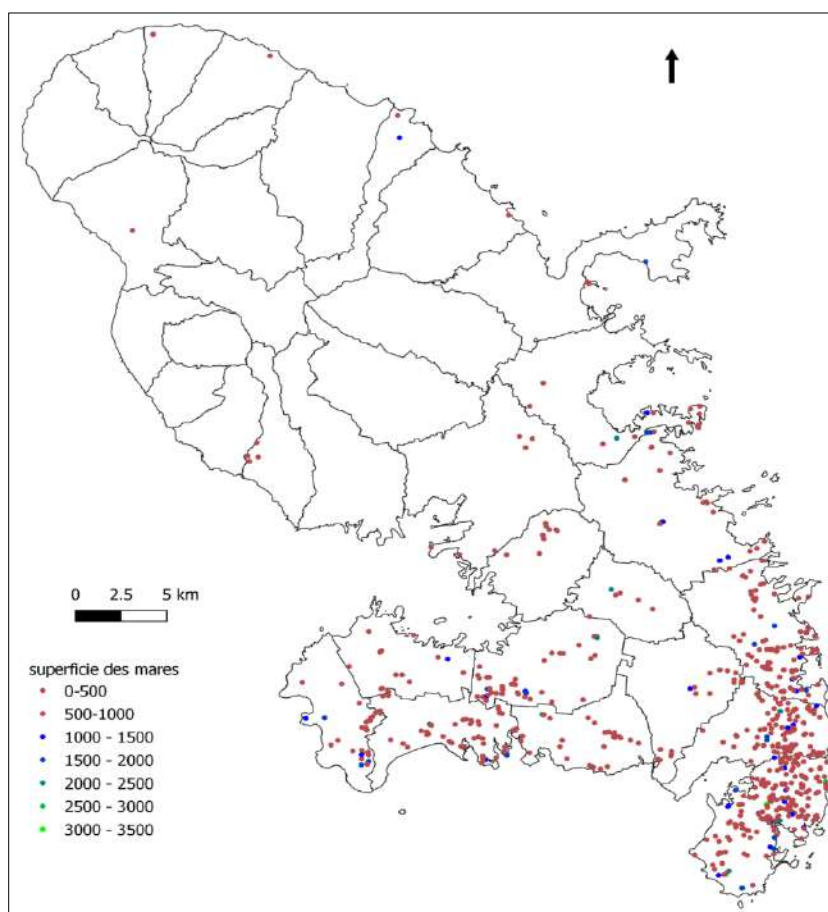


Figure 118 : Cartographie des superficies des mares en Martinique en 2017

(Réalisation Peggy Major)

Tableau 20 : Répartition de la superficie des mares en 2017

| Superficie (en m ²) | Nombre de mares | Fréquences |
|---------------------------------|-----------------|------------|
| [0 – 500] | 460 | 74 % |
| [500 – 1000] | 98 | 15,85 % |
| [1000 – 1500] | 29 | 4,69 % |
| [1500 – 2000] | 19 | 3,07 % |
| [2000 – 2500] | 7 | 1,13 % |
| [2500 – 3000] | 4 | 0,64 % |
| [3000 – 3500] | 1 | 0,16 % |
| Total | 618 | 100 % |

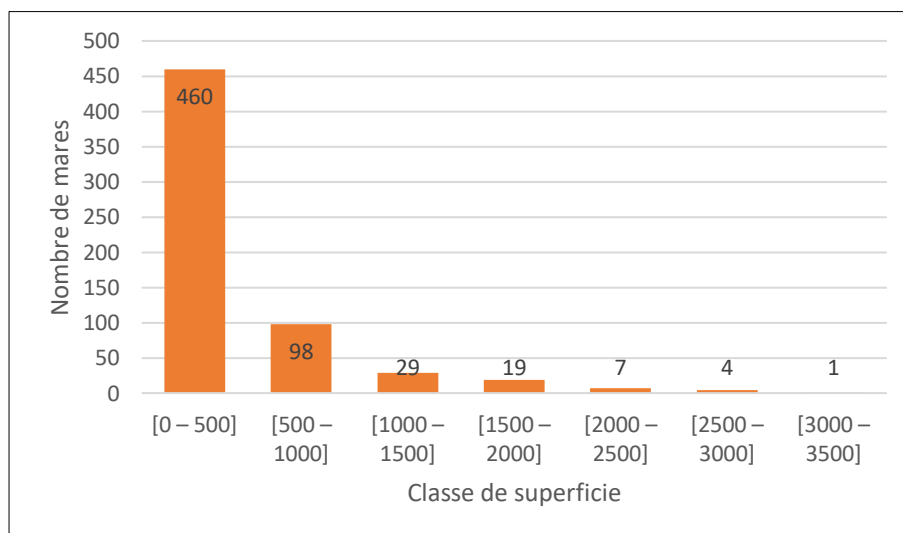


Figure 119 : Graphique de la répartition de la superficie des mares par classe en 2017

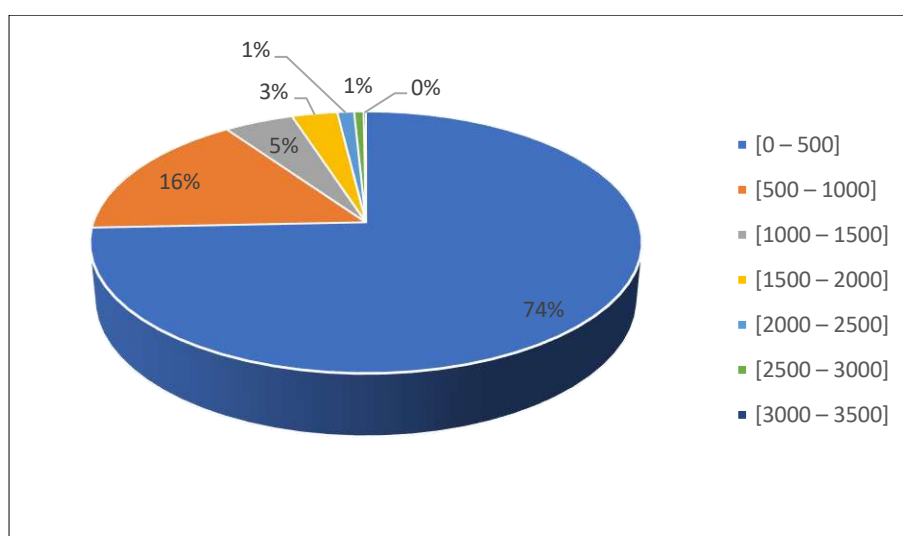


Figure 120 : Graphique de la superficie des mares en 2017

Tableau 21 : Répartition de la superficie des mares selon la photographie aérienne

| Superficie | Nombre de mares | Fréquences |
|---------------|-----------------|--------------|
| [0 – 500] | 73 | 54,88 % |
| [500 – 1000] | 33 | 24,81% |
| [1000 – 1500] | 10 | 7,51 % |
| [1500 – 2000] | 8 | 6,01 % |
| [2000 – 2500] | 3 | 2,25 % |
| [2500 – 3000] | 6 | 4,51 % |
| Total | 133 | 100 % |

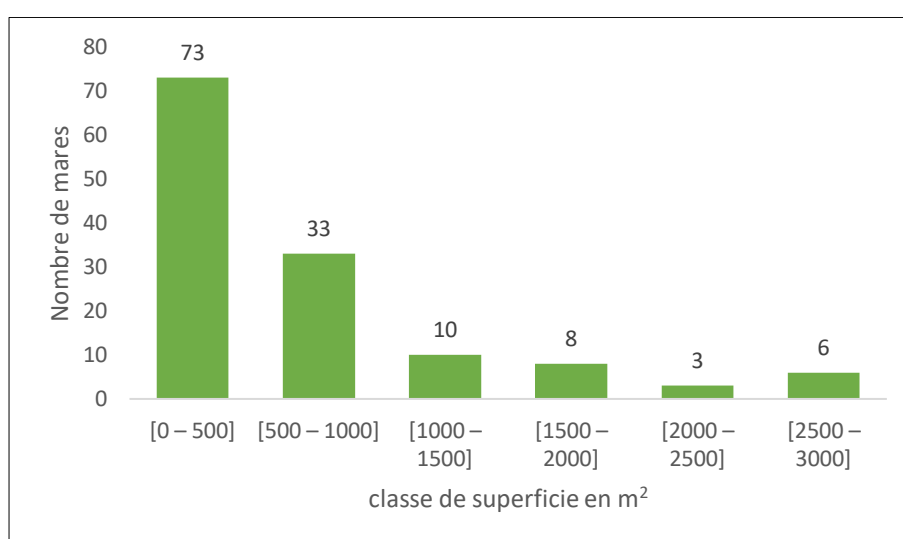


Figure 121 : Graphique de la superficie des mares par classe

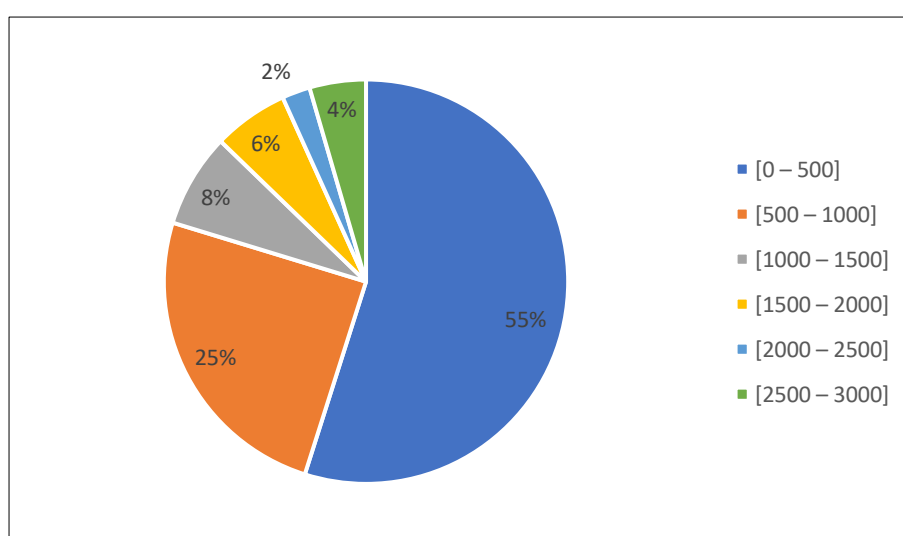


Figure 122 : Graphique de la superficie des mares

L'ensemble des données recensées a permis d'attester de la présence d'écosystèmes lenti-ques à l'échelle insulaire avec des zones plus ou moins remplies.

Ainsi, les plus fortes concentrations s'observent dans les communes du Sud de l'île dans les paysages de plaines et de mornes caractérisées par une production agricole orientée vers l'élevage et l'horticulture. Les paysages du Nord composés essentiellement d'un relief montagneux et d'un réseau hydrographique important, possèdent peu de mares.

Ces inventaires menés de cartes IGN au 1/50 000^e, 1/25 000^e et de photographie aérienne ont permis de mettre en évidence une augmentation du nombre de mares entre 1950 et 2017 mais aussi sur une période récente une diminution importante.

Ce travail a permis d'estimer le nombre de mares à 262 en 1950 (Tableau 18), à 618 en 2017 (Tableau 20) et aujourd'hui 133 mares (Tableau 21). Toutefois, ces résultats sont largement inaboutis en raison des limites que peuvent avoir ces inventaires cartographiques. C'est pourquoi, il est nécessaire de les compléter par des vérifications de terrain.

5.2 Prospection de terrain

5.2.1 Inventaire de terrain des mares

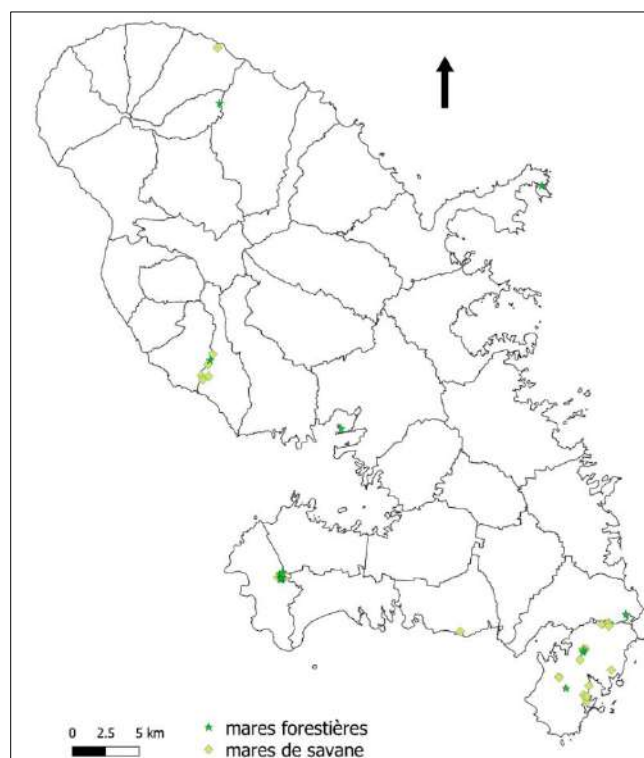


Figure 123 : Carte des types de mares

Tableau 22 : Inventaire des 42 mares

| Mares | Communes | Altitude | Type de sol | Texture du sol | Type de mare | Végétation | Statut juridique |
|-------|-----------------|----------|-----------------------|----------------|--------------|------------|------------------|
| 1 | Ajoupa-Bouillon | 105 | Andosol | Sableuse | Forestière | Oui | Privé |
| 13 | Anses d'Arlet | 392 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 14 | Anses d'Arlet | 390 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 15 | Anses d'Arlet | 388 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Non | Privé |
| 16 | Anses d'Arlet | 382 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Non | Privé |
| 17 | Anses d'Arlet | 389 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Oui | Privé |
| 18 | Anses d'Arlet | 387 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Oui | Privé |
| 19 | Anses d'Arlet | 387 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Non | Privé |
| 20 | Anses d'Arlet | 384 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 21 | Anses d'Arlet | 379 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 22 | Anses d'Arlet | 386 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Oui | Privé |
| 23 | Anses d'Arlet | 379 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Oui | Privé |
| 2 | Basse-Pointe | 40 | Sol brun à halloysite | Sableuse | Savane | Oui | Privé |
| 3 | Gros-Morne | 495 | Andosol | Limoneuse | Savane | Non | Inconnu |
| 4 | Le Lamentin | 9 | Alluvions | Non déterminé | Forestière | Oui | Public |
| 24 | Le Marin | 5 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Oui | Privé |
| 25 | Le Marin | 109 | Vertisol | Argileuse | Savane | Non | Privé |
| 26 | Sainte-Anne | 29 | Vertisol | Argileuse | Forestière | oui | Privé |
| 27 | Sainte-Anne | 18 | Vertisol | Argileuse | Savane | Non | Privé |
| 28 | Sainte-Anne | 21 | Vertisol | Argileuse | Savane | Non | Privé |
| 29 | Sainte-Anne | 21 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 30 | Sainte-Anne | 10 | Vertisol | Argileuse | Savane | Non | Privé |
| 31 | Sainte-Anne | 7 | Vertisol | Argileuse | Savane | Non | Privé |
| 32 | Sainte-Anne | 10 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 33 | Sainte-Anne | 26 | Vertisol | Argileuse | Savane | Non | Privé |
| 34 | Sainte-Anne | 42 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Oui | Privé |
| 35 | Sainte-Anne | 64 | Vertisol | Argileuse | Forestière | Oui | Privé |
| 36 | Sainte-Anne | 32 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 37 | Sainte-Anne | 112 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 38 | Sainte-Anne | 133 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 39 | Sainte-Anne | 122 | Vertisol | Argileuse | Savane | Non | Privé |
| 40 | Sainte-Anne | 46 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 41 | Sainte-Anne | 53 | Vertisol | Argileuse | Savane | Non | Privé |
| 42 | Sainte-Luce | 8 | Vertisol | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 5 | Schœlcher | 221 | Sol brun à halloysite | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 6 | Schœlcher | 255 | Sol brun à halloysite | Argileuse | Savane | Oui | Public |
| 7 | Schœlcher | 351 | Sol brun à halloysite | Argileuse | Forestière | Non | Privé |

| | | | | | | | |
|----|-----------|-----|-----------------------|-----------|------------|-----|--------|
| 8 | Schœlcher | 416 | Sol brun à halloysite | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 9 | Schœlcher | 346 | Sol brun à halloysite | Argileuse | Savane | Oui | Privé |
| 10 | Schœlcher | 339 | Sol brun à halloysite | Argileuse | Savane | Non | Privé |
| 11 | Trinité | 47 | Sols fersiallitiques | Argileuse | Forestière | Oui | Public |
| 12 | Trinité | 47 | Sols fersiallitiques | Argileuse | Forestière | Non | Public |

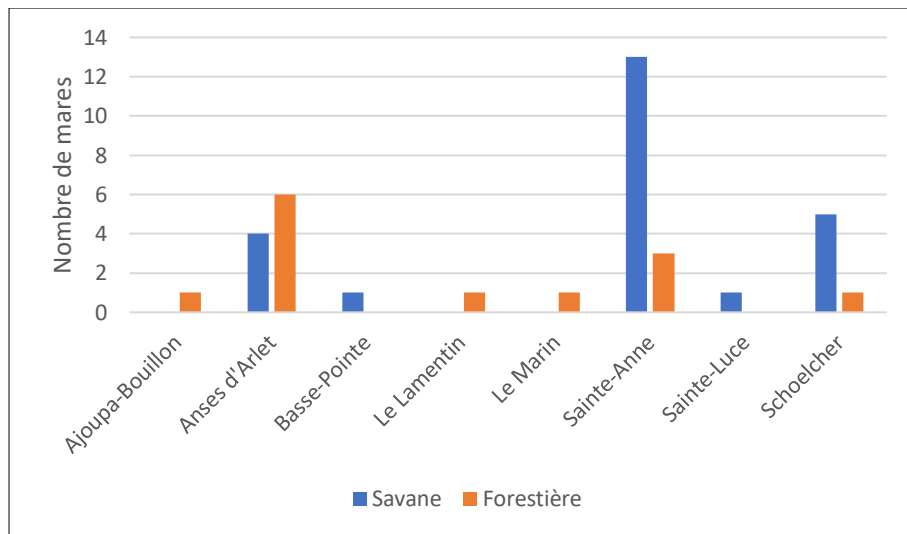


Figure 124 : Graphique des types de mares

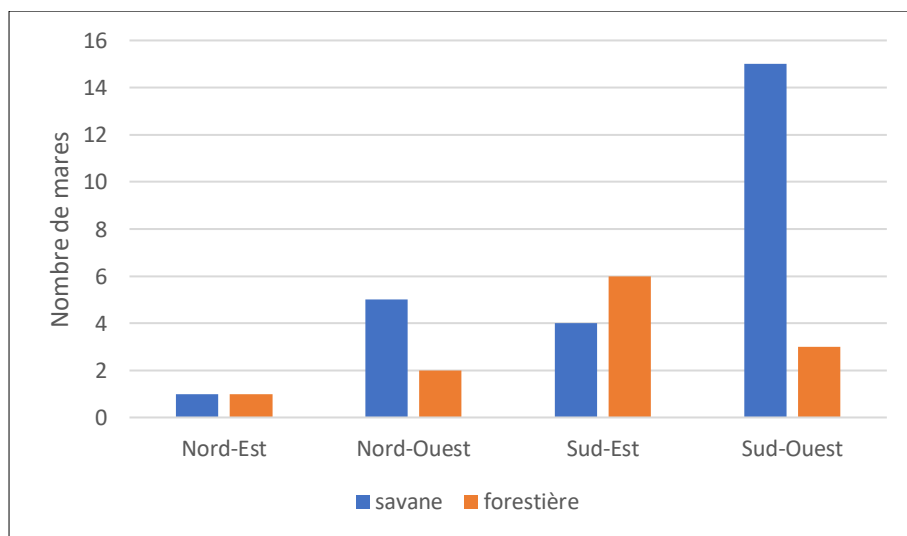


Figure 125 : Graphique de la distribution spatiale des types de mares

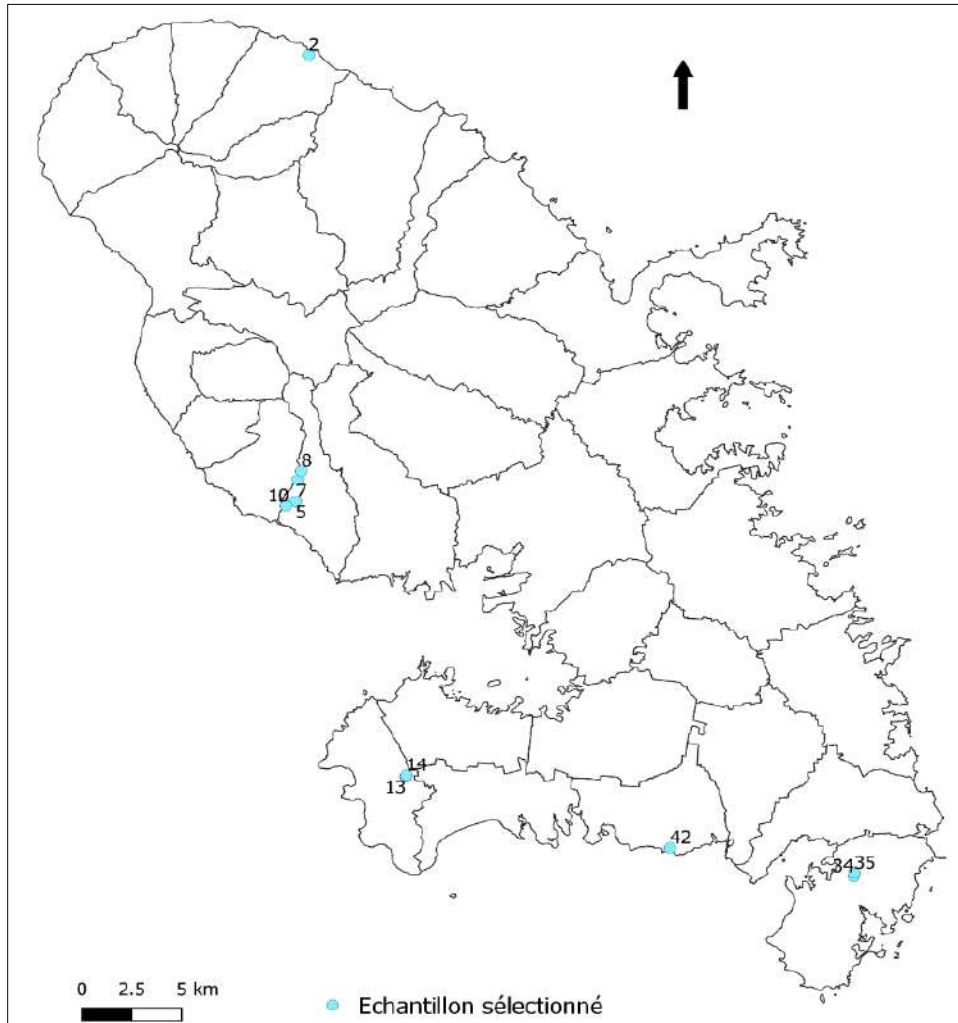


Figure 126 : Echantillon des mares sélectionnées

5.2.3 Dynamique du fonctionnement des mares

Pluviométrie annuelle et mensuelle

Les données de base sont constituées de bulletins climatiques annuels sur trois années (2018-2020) provenant de deux stations (Tableaux 23 et 24) localisées dans deux bioclimats (Nord et Sud). Ce choix a été effectué de façon à permettre une couverture homogène possible de la zone d'étude. Ces données ont été récupérées sur le site de Météo France Martinique.

Tableau 23 : Précipitations mensuelles en mm des Stations de Macouba (2018) et de Basse-Pointe (2019 et 2020)

| Année | 2018 | 2019 | 2020 |
|------------------|------|-------|--------|
| Janv | 256 | 216 | 186,5 |
| Fév | 143 | 37 | 90 |
| Mars | 111 | 76 | 78,5 |
| Avril | 347 | 119 | 31,5 |
| Mai | 268 | 190 | 39 |
| Juin | 257 | 146 | 98,5 |
| Juillet | 287 | 224 | 159,5 |
| Août | 371 | 255 | 149 |
| Sept | 241 | 230 | 172,2 |
| Oct | 272 | 328 | 607,1 |
| Nov | 639 | 285 | 591,1 |
| Déc | 204 | 253 | 67,7 |
| Moyenne annuelle | 283 | 196,5 | 189,21 |

(Source : https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=129&id_rubrique=52
Consulté le 21/10/2021)

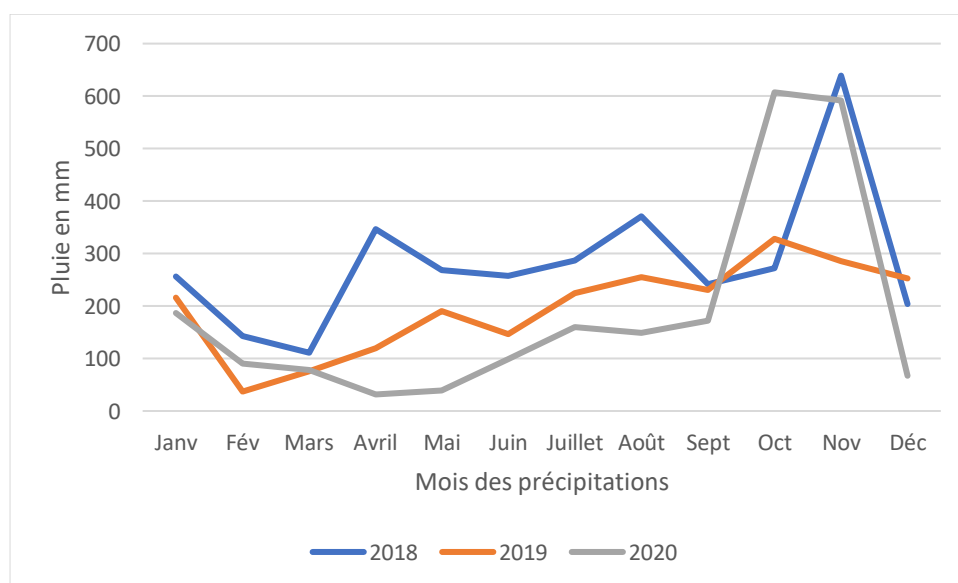


Figure 127 : Graphique de l'évolution des précipitations annuelles des stations de Macouba et de Basse-Pointe

Tableau 24: Précipitations mensuelles en mm de la station de Sainte-Anne (2018,2019 et 2020)

| Année | 2018 | 2019 | 2020 |
|------------------|-------|-------|-------|
| Janv | 107 | 88 | 87,4 |
| Fév | 123 | 16 | 123,1 |
| Mars | 55 | 42 | 30,9 |
| Avril | 145 | 39 | 30,5 |
| Mai | 179 | 144 | 31,4 |
| Juin | 177 | 89 | 76,2 |
| Juillet | 118 | 136 | 136,3 |
| Août | 149 | 147 | 87 |
| Sept | 61 | 112 | 119,1 |
| oct | 249 | 108 | 359,1 |
| nov | 242 | 153 | 300,5 |
| déc | 110 | 46 | 69,3 |
| Moyenne annuelle | 142,9 | 93,33 | 120,9 |

(Source : https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=129&id_rubrique=52. Consulté le 21/10/2021)

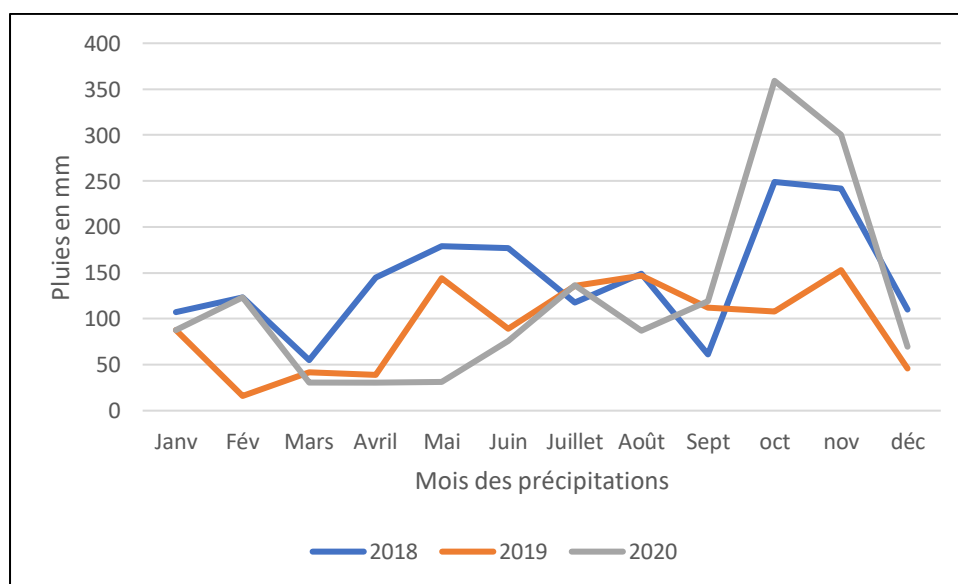


Figure 128 : Graphique de l'évolution des précipitations annuelles de la station de Sainte-Anne

Tableau 25 : Précipitations mensuelles de la station de Sainte-Anne pour l'année 2021

| Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre |
|---------|---------|------|-------|-----|------|---------|------|-----------|---------|
| 121 | 118 | 106 | 52 | 31 | 198 | 126 | 119 | 85 | 108 |

Source : https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=129&id_rubrique=52.

Consulté le 21/10/2021

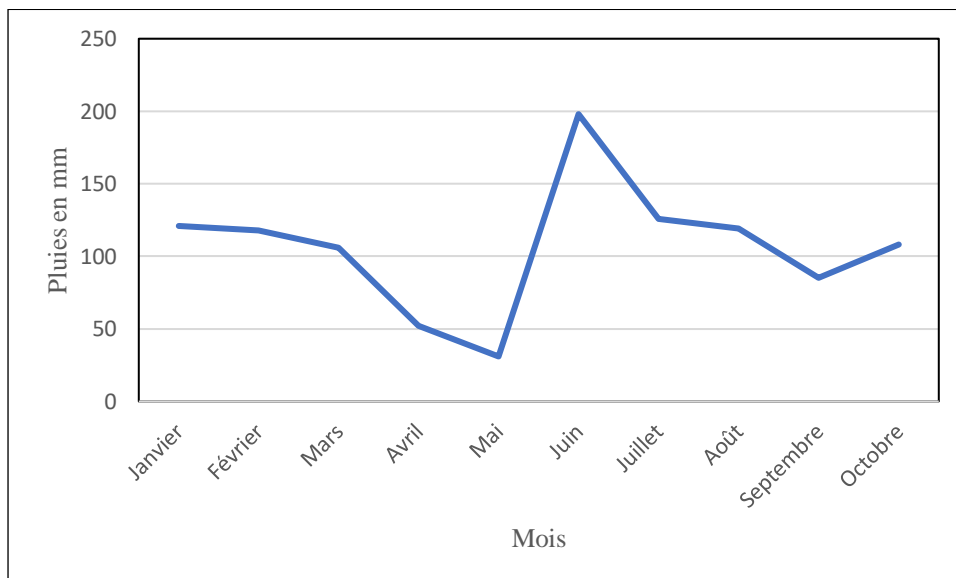


Figure 129 : Graphique de l'évolution des précipitations mensuelles de la station de Sainte-Anne en 2021

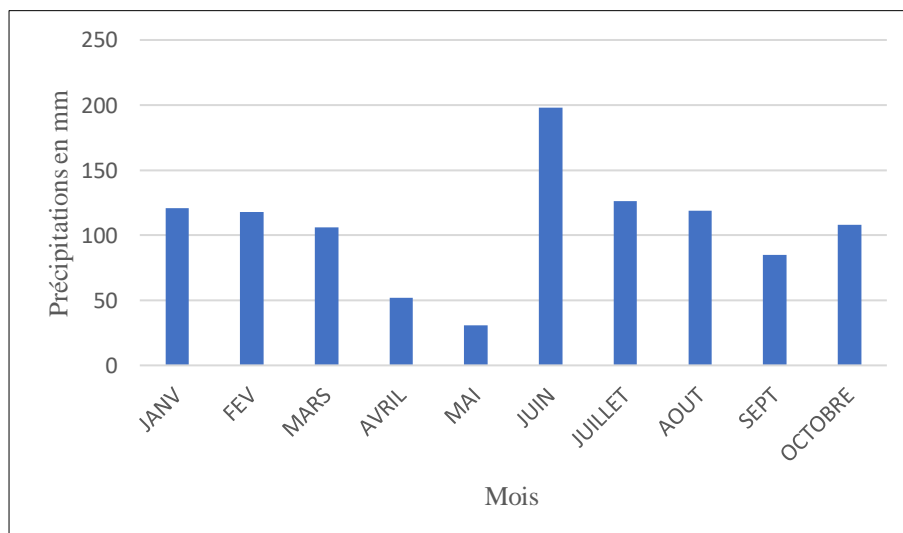


Figure 130 : Pluviométrie mensuelle de la commune de Sainte-Anne en 2021

Tableau 26 : Niveau d'eau des mares échantillonnées

| | | M2 | M5 | M6 | M7 | M8 | M13 | M14 | M34 | M35 | M42 |
|------|---------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mois | Avril | 50 % | 50 % | 100 % | 100 % | 50 % | 50 % | 50 % | 50 % | 100 % | 100 % |
| | Juin | 50 % | 25 % | 50 % | 50 % | 25 % | 25 % | 50 % | 50 % | 50 % | 100 % |
| | Octobre | 50 % | 100 % | 100 % | 100 % | 50 % | 100 % | 100 % | 100 % | 25 % | 100 % |

Niveau d'eau

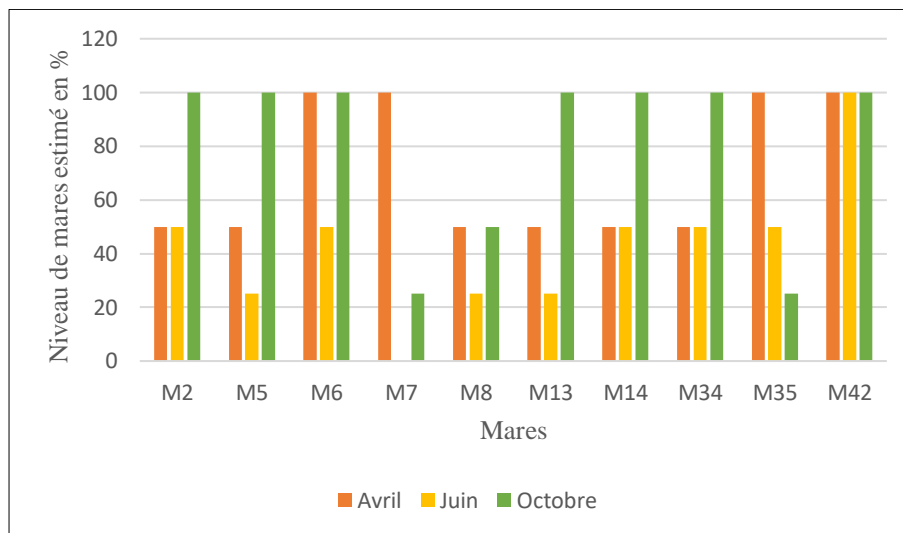


Figure 131: Graphique de l'évolution du niveau d'eau des mares échantillonnées pendant la période du carême et de l'hivernage

Superficie

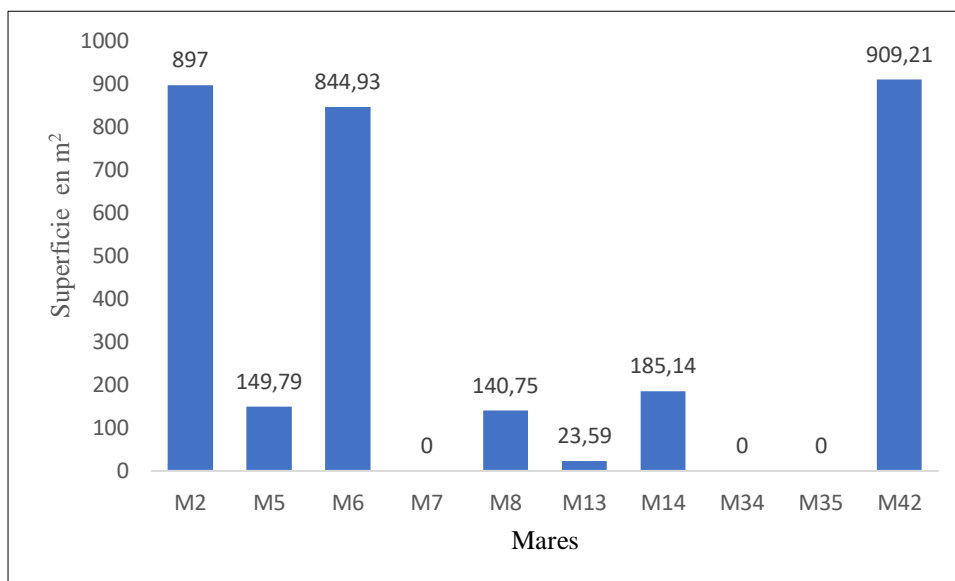


Figure 132 : Graphique de la superficie des 10 mares

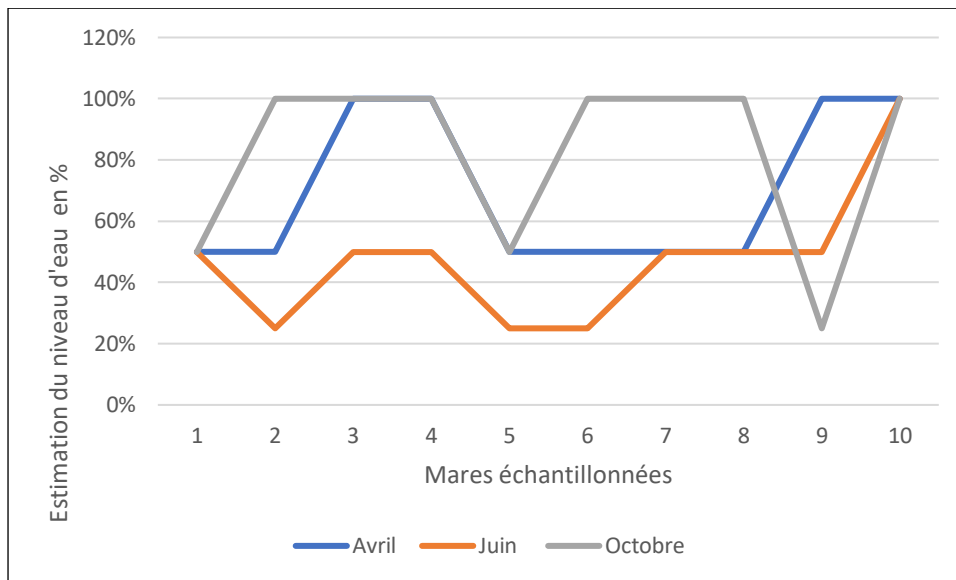


Figure 133 : Graphique de l'évolution du niveau d'eau du suivi des mares échantillonnées pendant la période du carême et de l'hivernage en 2021



Figure 134 : Photo de la mare M7 au 14/04/2021 (Peguy Major©)



Figure 135 : Photo de la mares M7 au 10/06/2021 (Peguy Major©)



Figure 136 : Photo de la mare M13 au 13/01/2019 (Peguy Major©)



Figure 137 : Photo de la mare M13 au 07/04/2019 (Peguy Major©)

Tableau 27 : Données géomorphologiques des 10 mares échantillonnées

| Mares | Texture du sol | Superficie | Altitude |
|-------|----------------|------------|----------|
| M2 | Sableuse | 897 | 40 |
| M5 | Argileuse | 149,79 | 221 |
| M6 | Argileuse | 844,93 | 255 |
| M7 | Argileuse | NP | 351 |
| M8 | Argileuse | 140,75 | 416 |
| M13 | Argileuse | 23,59 | 392 |
| M14 | Argileuse | 185,14 | 390 |
| M34 | Argileuse | — | 42 |
| M35 | Argileuse | — | 64 |
| M42 | Argileuse | 909,21 | 8 |

Tableau 28 : Des paramètres mésologiques des 10 mares en 2021

| | Conductivité | | | Température | | | PH | | |
|---------|--------------|------|-----|-------------|------|-----|-------|------|-----|
| | Avril | Juin | Oct | Avril | Juin | Oct | Avril | Juin | Oct |
| M2 | 99 | 115 | - | 30°4 | 31°8 | - | 6,2 | 8,06 | - |
| M5 | 96 | 172 | - | 25°8 | 32°9 | - | 6,2 | 7,8 | - |
| M6 | 111 | 148 | - | 26°7 | 30° | - | 6,8 | 8,6 | - |
| M7 | 69 | 192 | - | 24°1 | 28°2 | - | 6,8 | 7,30 | - |
| M8 | 115 | 208 | - | 25°8 | 27°6 | - | 6,2 | 7,7 | - |
| M13 | 287 | 523 | - | 25°3 | 25°8 | - | 7,8 | 7,6 | - |
| M14 | 245 | 298 | - | 25°7 | 24° | - | 7,2 | 7,6 | - |
| M34 | 182 | 253 | - | 29°3 | 29°4 | - | 6,8 | 7,1 | - |
| M35 | 260 | 346 | - | 30°4 | 29°2 | - | 6,8 | 7,7 | - |
| M42 | 176 | 537 | - | 28°3 | 28°3 | - | 6,2 | 7,1 | - |
| Moyenne | 164 | 289 | - | 27°18 | 29° | - | 6,7 | 7,7 | - |

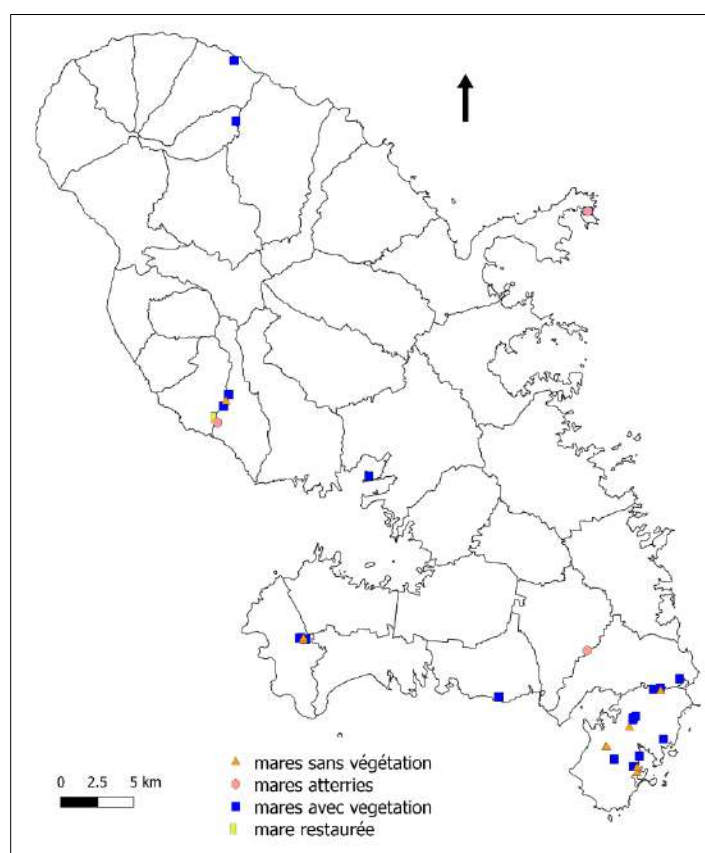


Figure 138 : Carte du statut des mares
(Réalisation Peguy Major)



Figure 139 : Photo de la mare M8 à Schoelcher au 05/05/2019 (Peguy Major©)



Figure 140 : Photo de la mare M8 de Schoelcher au 06/03/2021 (Peguy Major©)

Restauration d'une mare : l'exemple de la mare à Schœlcher



Figure 141 : Panneau présentant les travaux de restauration de la mare M6 à Schoelcher 05/08/2019 (Peguy Major©)



Figure 142 : Photo avant restauration mare M6 (Peguy Major©)



Figure 143 : Photo après restauration mare M6 06/03/2021 (Peguy Major©)



Figure 144 : Photo de la mare forestière sans végétation aux Anses d'Arlet 20/01/2019 (Peguy Major©)



Figure 145 : Photo de la mare forestière avec végétation aux Anses d'Arlet 23/09/2018 (Peguy Major©)

Mares atterries



Figure 146 : Mare de Trinité La Caravelle vue le 17/03/2019 (Peguy Major©)



Figure 147 : Mare de Schoelcher vue le 18/05/2019 (Peguy Major)

Évolution du fonctionnement écologique des mares



Figure 148 : Mare M14 vue le 16/07/2018 (Peguy Major©)



Figure 149 : Mare M14 vue le 13/04/2021 (Peguy Major©)



Figure 150 : Mare M5 vue le 21/10/2021 (Peguy Major©)



Figure 151 : Mare M13 vue le 12/06/2021 (Peguy Major©)

5.2.4 Analyse des résultats sur le terrain

Au cours de nos sorties de terrain, nous avons recensé 42 mares²². Nous avons observé que lors de nos investigations, la répartition géographique des mares est inégale. En effet, nous retrouvons uniquement 11 mares au Nord et 31 au Sud (Figure 123). La majorité des mares sont des propriétés privées.

Sur un total de 42 mares :

- 15 sont des mares forestières et 27 des mares de savane recensées dans 10 communes de la Martinique ;
- 10 mares ont été sélectionnées pour des raisons d’accessibilité et de sécurité (Figure 123), 7 sont des mares forestières et 5 des mares de savane (Tableau 23).
- 5 sont des mares atterries ;
- 26 sont couvertes de végétations aquatiques ;
- 11 sont sans végétation (Tableau 23).

Toutes nos mares inventoriées sont pour la plupart privées sauf une (M5). Les résultats présentés dans cette partie concernent uniquement les mares échantillonnées (Figure 124) et s'appuient sur l'analyse des critères de la fiche d'observation. Le type de mare se définit au regard de l'aspect de la mare, qui provient le plus souvent de son usage, qu'il soit passé ou encore actuel. Nous avons distingué deux types de mares lors de nos prospections (Figure 123) :

- *Les mares de savane* (Figure 127) n'ont aucun usage et sont en grande partie colonisées par de la végétation aquatique. Situées en milieux ouverts, elles bénéficient d'un bon ensoleillement, favorisant ainsi la présence d'une flore et d'une faune diversifiées. Elles étaient anciennement utilisées comme abreuvoirs mais pour des raisons sanitaires, elles ne permettent plus cet usage.

²² La carte d'inventaire se trouve dans la partie matériel p. 102



Figure 152 : Photo d'une mare de savane à Sainte-Anne au 30/12/2019 (Peguy Major©)

– *Les mares forestières* (Figure 153) se caractérisent par un ombrage parfois important qui conditionne leur apparence. Toutefois, nos mares insulaires (M7, M34, M35) sont moyennement ombragées et laissent filtrer la lumière en raison d'un écosystème forestier peu dense. En effet, nous observons généralement un développement réduit de la flore et de la faune, mais aussi une accumulation de débris végétaux entraînant une possible eutrophisation, etc.

Les mares 34 et 35 (Annexe 8B) sont colonisées par l'espèce aquatique invasive *Lemna polyrhiza*. Et la mare M7 (Figure 134) possède un ombrage assez étendu. Ce qui, chez elle, contribue à diminuer les apports de lumière et l'installation de certaines espèces végétales aquatiques. Ainsi, ces mares sont incluses dans une matrice forestière, avec des arbres à proximité immédiate de l'eau.



Figure 153 : Photo d'une mare forestière (M 34) au 30/12/2019 (Peguy Major©)

– La mare *M2* dont le nom local est Moulin l'étang, trouve au Nord à 40 m d'altitude, à proximité de la route (Annexe 8B). De circonférence de 897 m², visitée le 23 Octobre 2021, elle est en eau (100 %) et est pourvu de végétation aquatique. En plus de la flore, cette mare héberge une faune très variée (oiseaux migrateurs, batraciens, libellules, etc.).



Figure 154 : Photo montrant une poule d'eau sur la mare M2

– Les mares *M5*, *M6*, *M7* et *M8* (Annexe 8A) sont au Nord entre 200 et 400 m d'altitude. Visitée le 12 juin 2021, les mares *M5*, *M6* et *M8* (Figure 140) sont en eau (Annexe 8A), tandis que la mare *M7* est asséchée et sans végétation (Figure 135).

– Les mares *M13*, *M14* sont situées dans le Sud de l'île à une altitude de 390 et 392 m respectivement. Elles sont proche l'une de l'autre et sont entourées à moitié par des ligneux (Annexe 8A et Annexe 8B). Lors de notre première visite (13/04/2021) les deux mares étaient à moitié remplies (Figure 37). Deux mois plus tard, (12/06 2021), la *M13* s'est vidée de 75% tandis que le niveau d'eau de la *M14* est resté identique (Figure 151).

Ces mares forestières *M34* et *M35* (Annexe 8B) sont également au Sud. Elles étaient à moitié remplies lors de notre première et deuxième visite. A notre dernière, elles retrouvent leur niveau normal. La mare *M42*, située à proximité de la route et encadrée par des habitations. Elle est en eau presque toute l'année (Annexe 8B).

Le statut des mares

Les résultats montrent que des mares évoluent différemment. Elles peuvent être colonisées par de la végétation (Figure 145). D'autres connaissent un processus d'atterrissement (Figures 146 et 147). Pour des raisons inconnues, certaines mares sont sans végétation (Figure 144). Enfin, il y a une qui fait l'objet d'une restauration (Figure 143). Une cartographie a été élaborée en ce sens (Figure 141).

La morphologie

Les mares échantillonnées ont des dimensions très variables. Nous avons observé des mares de diamètre compris entre 20 et 900 m² (Tableau 28). La profondeur n'a pas été notée systématiquement en raison d'un manque de matériel approprié. En première approximation, la profondeur varie de quelques décimètres à quelques mètres (rarement plus de 2 à 3 m selon nos observations).

Caractères physico-chimiques de l'eau

D'après la littérature scientifique, l'eau est peu minéralisée, alcaline et riche en azote et en phosphore. La qualité d'une eau naturelle se définit par sa composition chimique. Une analyse chimique des eaux des mares inventoriées est une des actions à entreprendre pour définir leur qualité chimique.

- *La température*

La température des eaux des mares prospectées est comprise entre 24 et 33 C° entre avril et juin 2021. La température maximale est enregistrée en juin (33 C°). L'élévation de la température au cours de la saison sèche est le principal facteur d'une évaporation intense au niveau des mares (Tableau 29).

Cependant, la température de l'eau a été exclue des analyses dans la discussion pour cause d'imprécision, et cela pour deux raisons.

Premièrement, les mesures n'ont pas pu être effectuées au cours de la même tranche horaire pour toutes les mares, la visite d'une mare requérant souvent une à deux heures de travail sur le terrain.

Deuxièmement, une même mare n'a pas pu être mesurée à la même heure à chaque visite, rendant les mesures d'une visite à l'autre non comparables.

- *Les précipitations*

- Répartition spatiale des pluies

La répartition des pluies est très variable selon les bulletins climatiques de Météo France (Figures 36, 37 et 38) En effet, les précipitations annuelles du Nord sont très importantes 3396 mm (2018), 2359 mm (2019) et 2270,6 mm (2020) (Tableau 24).

La station de Macouba indique les mois *le plus pluvieux* pour l'année 2018 est Novembre (639 mm) ; l'année 2019, Octobre (328 mmm) ; l'année 2020, Octobre (607,1 mm) et *le moins arrosé*, l'année 2018 est Mars (111mm) ; en 2019, Mars (76 mm), en 2020 Mai (31,5 mm) (Tableau 23).

Les précipitations annuelles du Sud (Station de Sainte-Anne) sont moins importantes (Figure 129) que celles du Nord (Tableau 24). Pendant la période de l'hivernage, les pluies ne sont guère abondantes (Figure 133). Les mois les plus arrosés sont Octobre (249 mm) en 2018 ; Novembre (153 mm) en 2019 ; Octobre (359,1 mm).

Et les mois les moins pluvieux sont Mars (55 mm) en 2018, Avril (39 mm) en 2019, Avril (30,5 mm) en 2020 (Tableau 24). C'est la conséquence de l'inégale répartition du relief entre le Nord et le Sud.

- Variations annuelles de la pluviosité

Les précipitations moyenne annuelle au Nord varient (Figure 128). Elles sont de 283 mm en 2018, 196,5 en 2019, 189,21 en 2020 d'après les stations pluviométriques de Macouba (2018) et de Basse-Pointe (2019 et 2020) (Tableau 23). Celles du Sud (Figure 128), elles sont aussi irrégulières avec moins de pluie (Tableau 24).

Le niveau d'eau des mares échantillonnées est assez variable (Tableau 27). En effet, nous avons observé lors de nos visites que pendant les mois de d'Avril et de Juin, les mares étaient peu remplies voire sèches pour certaines (Figure 131). Par ailleurs, pendant la période de l'hivernage, elles étaient totalement remplies (Figure 133).

- *Le potentiel hydrogène (pH)*

L'examen des résultats obtenus montrent que l'eau des mares est caractérisée par un pH moyen égal à 7,19. La valeur minimale de 6,2 est enregistrée au mois d'avril dans les mares M2, M5, M8 et M42, et le maximum de 8,6 au mois de juin dans la mare M6 (Tableau 29).

Le pH oscille entre 7,79 et 8,27 en fin de saison sèche (carême). Le pH de l'eau des mares est neutre ($\text{pH} < \text{ou} = 7$) et alcaline ($\text{pH} > 7$). Pour toutes les mares, le pH varie entre 6,2 et 8,6 (Tableau 25). Le pH neutre est égal à 7 si il est inférieur à 7, c'est pH acide. L'eau devient plus acide à mesure que le pH diminue et plus basique à mesure que le pH augmente. Les caractères acido-basiques de l'eau sont en autres déterminées par la nature géologique des sols.

- *La conductivité*

La valeur moyenne de la conductivité des eaux des mares étudiées est très élevée, elle est égale à 226 $\mu\text{s}/\text{cm}$ avec un minimum enregistré de 69 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et un maximum de 537 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Durant les deux mois, nos résultats montrent des valeurs relativement importantes pour les mares étudiées. En effet, la mare M42 enregistre 176 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en Avril, 537 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en Juin. Pour la mare M13, nous avons 287 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en Avril et 523 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en Juin ; la mare M35 indique 346 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en Juin (Tableau 29). Dans l'ensemble, nos mares échantillonnées présentent un état de conservation satisfaisant mais peuvent être confrontées à des perturbations anthropiques.

La mare M6 a fait l'objet d'une restauration en 2019 par la mairie de Schœlcher dans le cadre d'un projet de réinsertion des jeunes (Figures 141,142,143). Nous avons observé que la qualité écologique de certaines mares était médiocre. Autrement dit, l'eau de la mare M13 a changé de couleur sans doute lié à la pollution (Figure 151).

5.3 Inventaire des espèces végétales aquatiques

Deux catégories de végétaux ont été identifiées les héliophytes et les hydrophytes. Pour une meilleure évaluation de la diversité et de la richesse floristique des mares insulaires, nous avons effectuées une description des diverses formes végétales propres à ces habitats d'eau douce (Cf. § partie Matériel).

La première prospection entre (2018 et 2019) a permis d'inventorier huit espèces semi-aquatiques et aquatiques dans 18 mares sur 23 (Major et Claude, 2021).

Ces espèces appartiennent respectivement aux familles des Araceae, Cyperaceae, Hydrocharitaceae, Lemnaceae, Nymphaeaceae, Pontederiaceae, Salviniaceae, Scrophulariaceae. Un seul relevé par mare est pris en compte dans l'élaboration de ce tableau floristique. Une deuxième prospection a eu lieu de 2020 à 2021 (Tableau 31) dans le but d'identifier d'autres espèces (Tableau 29).

Les relevés floristiques des deux prospections réalisées sont mis en évidence au moyen d'un tableau présence-absence (Tableaux 30 et 31). Pour l'analyse de l'abondance-dominance, nous avons choisi les relevés issus de la première prospection (Tableau 30). Elle offre une meilleure représentativité de la végétation aquatique des mares.

La deuxième prospection ne nous a pas permis d'identifier de nouvelles espèces. L'importance des espèces végétales aquatiques est déterminée en fonction de leur catégorie. Pour les classer, nous utilisons les termes proposés par les écologistes, à savoir : hydrophytes de symbole Hy et héliophytes de symbole Hl. L'élément commun de ces types biologiques est leur besoin en eau.

Tableau 29 : Liste des espèces rencontrées dans les mares

| Famille | Espèces | Types biologiques |
|------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Araceae | <i>Pistia stratiotes</i> | Hy |
| Cyperaceae | <i>Cyperus papyrus</i> | Hl |
| Hydrocharitaceae | <i>Hydrilla verticillata</i> | Hy |
| Lemnaceae | <i>Lemna polyrhiza</i> | Hy |
| Scrophulariaceae | <i>Micranthemum umbrosum</i> | Hy |
| Nymphaeaceae | <i>Nymphaea ampla</i> | Hy |
| Pontederiaceae | <i>Eichhornia crassipes</i> | Hy |
| Salviniaceae | <i>Salvinia molesta D. S. Mitch</i> | Hy |

Tableau 30 : Relevé floristique (2018-2019) – **Première prospection**

| Mares | Communes | Esp.1 | Esp.2 | Esp.3 | Esp.4 | Esp.5 | Esp.6 | Esp.7 | Esp.8 | Total |
|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1 | Basse-Pointe | + | + | + | - | + | + | + | - | 6 |
| 2 | Ajoupa-Bouillon | - | - | - | + | - | - | - | - | 1 |
| 3 | Trinité | + | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| 4 | Schœlcher | + | - | - | - | - | + | - | - | 2 |
| 5 | Schœlcher | + | - | - | - | + | + | - | - | 3 |
| 6 | Schœlcher | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 7 | Schœlcher | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 8 | Schœlcher | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 9 | Schœlcher | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 10 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 11 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 12 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| 13 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 14 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 15 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 16 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 17 | Anses d'Arlet | + | - | - | - | - | + | - | - | 2 |
| 18 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | - | + | - | 1 |
| 19 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|---------------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|
| 20 | Anses d'Arlet | + | - | - | - | - | + | - | - | 2 |
| 21 | Sainte-Luce | + | - | - | - | - | - | - | + | 2 |
| 22 | Le Marin | + | - | - | - | - | + | - | - | 2 |
| 23 | Sainte-Anne | + | - | - | + | - | - | + | - | 3 |
| Total | | 8 | 1 | 1 | 2 | 2 | 12 | 3 | 1 | 31 |

Légende : (+) Présence de l'espèce (-) Absence de l'espèce

Espèce 1 = *Cyperus papyrus* ; **Espèce 2** = *Eichhornia crassipes* ; **Espèce 3** = *Hydrilla verticillata* ; **Espèce 4** = *Lemna polyrhiza* ; **Espèce 5** = *Micranthemum umbrosum* ; **Espèce 6** = *Nymphaea ampla* ; **Espèce 7** = *Pistia stratiotes* ; **Espèce 8** = *Salvinia molesta* D. S. Mitch.

Tableau 31 : Relevé floristique (2020-2021) – Deuxième prospection

| Mares | Communes | Esp.1 | Esp.2 | Esp.3 | Esp.4 | Esp.5 | Esp.6 | Esp.7 | Esp.8 | Total |
|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Ajoupa-Bouillon | - | - | - | + | - | - | - | - | 1 |
| 2 | Basse-Pointe | + | + | + | - | + | + | + | - | 6 |
| 3 | Gros-Morne | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 4 | Le Lamentin | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 5 | Schœlcher | + | - | - | - | - | + | - | - | 2 |
| 6 | Schœlcher | + | - | - | - | + | + | - | - | 3 |
| 7 | Schœlcher | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 8 | Schœlcher | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 10 | Schœlcher | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 11 | Schœlcher | + | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| 12 | Trinité | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----------|
| 13 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 14 | Anses d'Arlet | - | - | - | + | - | - | - | - | 1 |
| 15 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 16 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 17 | Anses d'Arlet | + | - | - | - | - | + | - | - | 2 |
| 18 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | - | + | - | 1 |
| 19 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 20 | Anses d'Arlet | + | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| 21 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 22 | Anses d'Arlet | - | - | - | + | - | - | - | - | 1 |
| 23 | Anses d'Arlet | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 24 | Le Marin | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 25 | Le Marin | + | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 26 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 27 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 28 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| 29 | Sainte-Anne | - | - | - | + | - | - | - | - | 1 |
| 30 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------------|----|---|---|---|---|----|---|---|----|
| 31 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 32 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 33 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 34 | Sainte-Anne | - | - | - | + | - | - | - | - | 1 |
| 35 | Sainte-Anne | - | - | - | + | - | - | - | - | 1 |
| 36 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 37 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 38 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | + | - | - | 1 |
| 39 | Sainte-Anne | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 |
| 40 | Sainte-Anne | + | - | - | - | - | + | - | - | 2 |
| 41 | Sainte-Anne | + | - | - | - | + | - | - | - | 2 |
| 42 | Sainte-Luce | + | - | - | - | - | - | - | + | 2 |
| Total | | 11 | 1 | 1 | 5 | 3 | 13 | 2 | 1 | 37 |

Légende : (+) Présence de l'espèce (-) Absence de l'espèce

Espèce 1 = *Cyperus papyrus* ; **Espèce 2** = *Eichhornia crassipes* ; **Espèce 3** = *Hydrilla verticillata* ; **Espèce 4** = *Lemna polyrhiza* ; **Espèce 5** = *Micranthemum umbrosum* ; **Espèce 6** = *Nymphaea ampla* ; **Espèce 7** = *Pistia stratiotes* ; **Espèce 8** = *Salvinia molesta* D. S. Mitch.

Nous observons que les espèces végétales ne sont pas distribuées d'une façon identique dans les relevés floristiques (Tableau 29). Certaines espèces sont plus fréquentes, et couvrent parfois une partie importante de la mare, tandis que d'autres sont relativement rares.

5.3.1 Le recouvrement des espèces dans les mares

Tableau 32 : Taux de recouvrement (Première prospection)

| | Esp.1 | Esp.2 | Esp.3 | Esp.4 | Esp.5 | Esp.6 | Esp.7 | Esp.8 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Mare 1 | 5 % | 5 % | 10 % | 0 % | 5 % | 25% | 50 % | 0 % |
| Mare 2 | 0 % | 0 % | 0 % | 100% | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Mare 3 | 100% | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Mare 4 | 25 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 50 % | 25% | 0 % |
| Mare 5 | 50 % | 0 % | 0 % | 0 % | 15 % | 35 % | 0 % | 0 % |
| Mare 6 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Mare 7 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Mare 8 | 50 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 50 % | 0 % |
| Mare 9 | 100 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Mare 10 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 100 % | 0 % | 0 % |
| Mare 11 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 100 % | 0 % | 0 % |
| Mare 12 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Mare 13 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Mare 14 | 50% | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 50% | 0 % | 0 % |
| Mare 15 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 100% | 0 % |
| Mare 16 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Mare 17 | 50 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 50% | 0 % | 0 % |
| Mare 18 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 100 % | 0 % | 0 % |
| Mare 19 | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Mare 20 | 50 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 50 % | 0 % | 0 % |
| Mare 21 | 25 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 75 % |
| Mare 22 | 50 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 50 % | 0 % | 0 % |
| Mare 23 | 25 % | 0 % | 0 % | 25 % | 0 % | 0 % | 50 % | 0 % |

Espèce 1 : *Cyperus papyrus*

Espèce 5 : *Micranthemum umbrosum*

Espèce 2 : *Eichhornia crassipes*

Espèce 6 : *Nymphaea ampla*

Espèce 3 : *Hydrilla verticillata*

Espèce 7 : *Pistia stratiotes*

Espèce 4 : *Lemna polyrhiza*

Espèce 8 : *Salvinia molesta*

5.3.2 Analyse des inventaires floristiques

Lors des relevés de la végétation, un coefficient de répartition est attribué à chaque espèce, en nous appuyant sur l'échelle de Bran-Blanquet. Toutefois, au regard de la réalité de notre micro-île, nous avons adapté cette échelle, afin d'avoir une estimation représentative de la distribution géographique.

La mare est monospécifique, le coefficient affecté est de 100 %. La mare sans aucune espèce est affectée de 0 %. Il ne s'agit donc pas d'une véritable mesure. Son estimation est sujette à une part de subjectivité, mais reste, cependant, non négligeable dans l'analyse de la prolifération des espèces végétales dans nos mares.

0 % : Pas d'espèce
5 % - 25 % : 1 à 4 espèces
25 % - 50 % : plus de 5 espèces
50 % - 75 % : 2 à 5 espèces
75 % - 100 % : au moins 4 espèces
100 % : 1 espèce

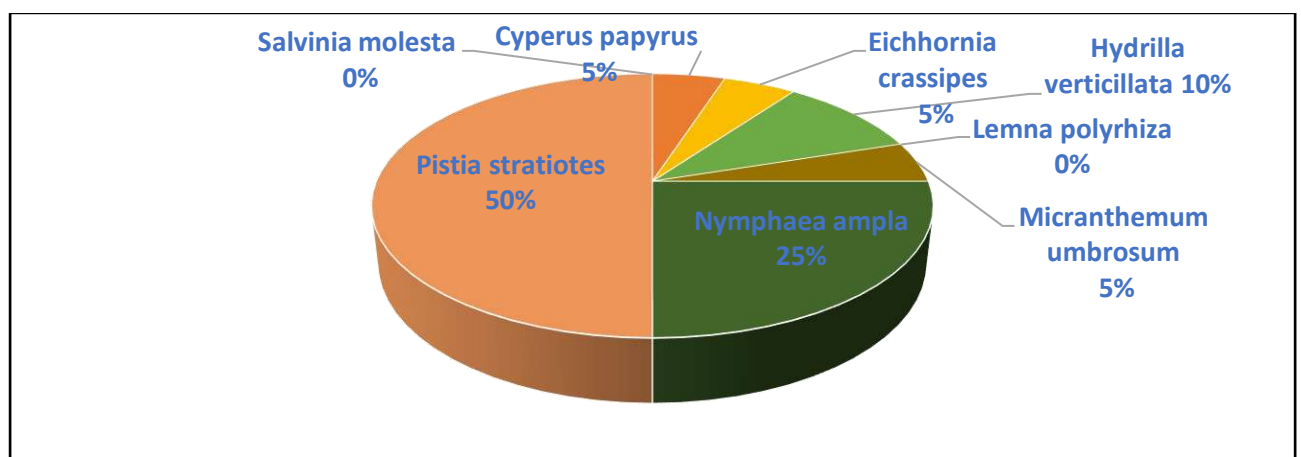


Figure 155 : Répartition des espèces de la mare 1

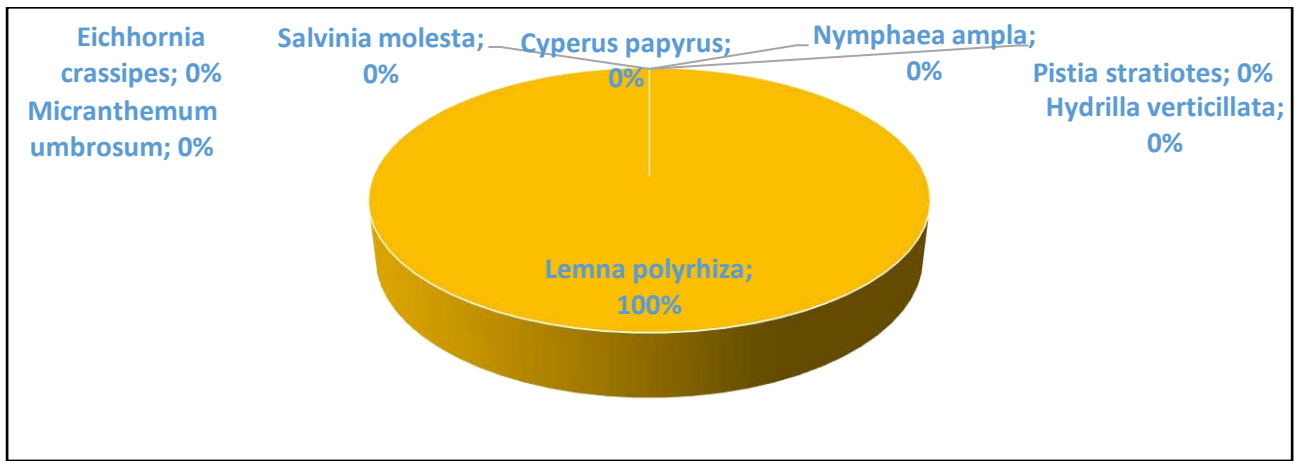


Figure 156 : Répartition des espèces dans la mare 2

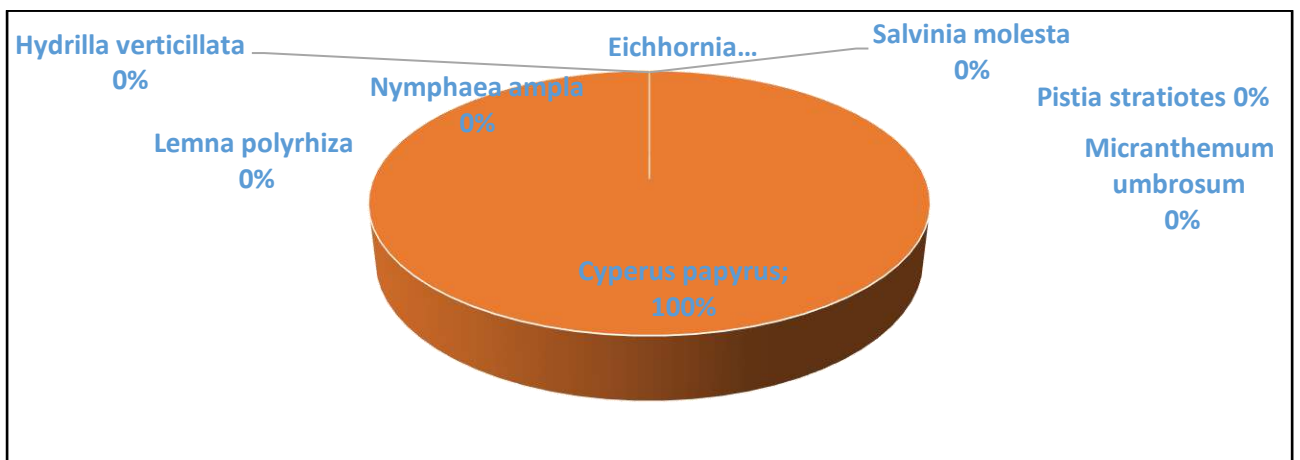


Figure 157 : Répartition des espèces dans la mare 3

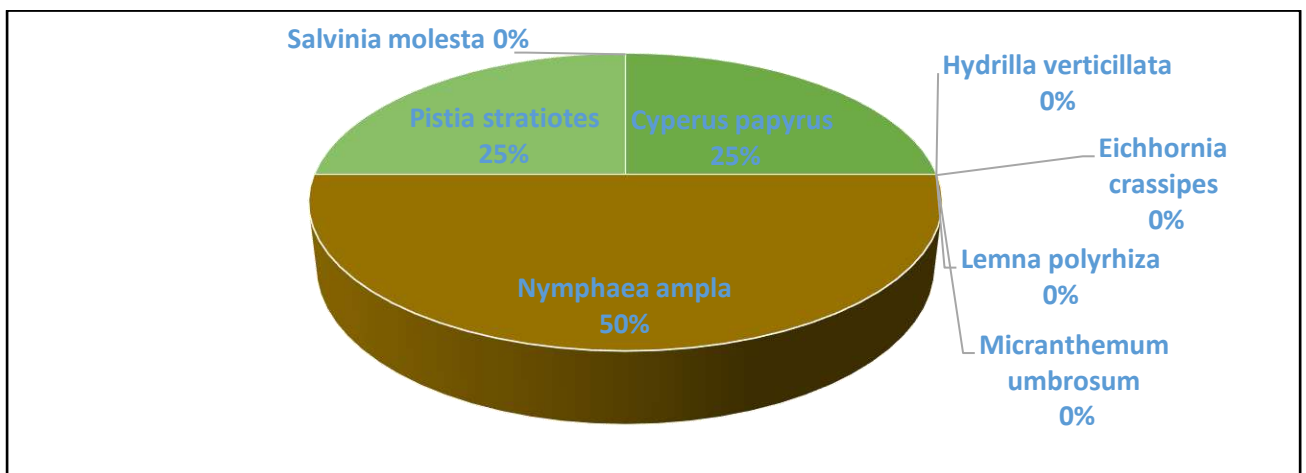


Figure 158 : Répartition des espèces dans la mare 4

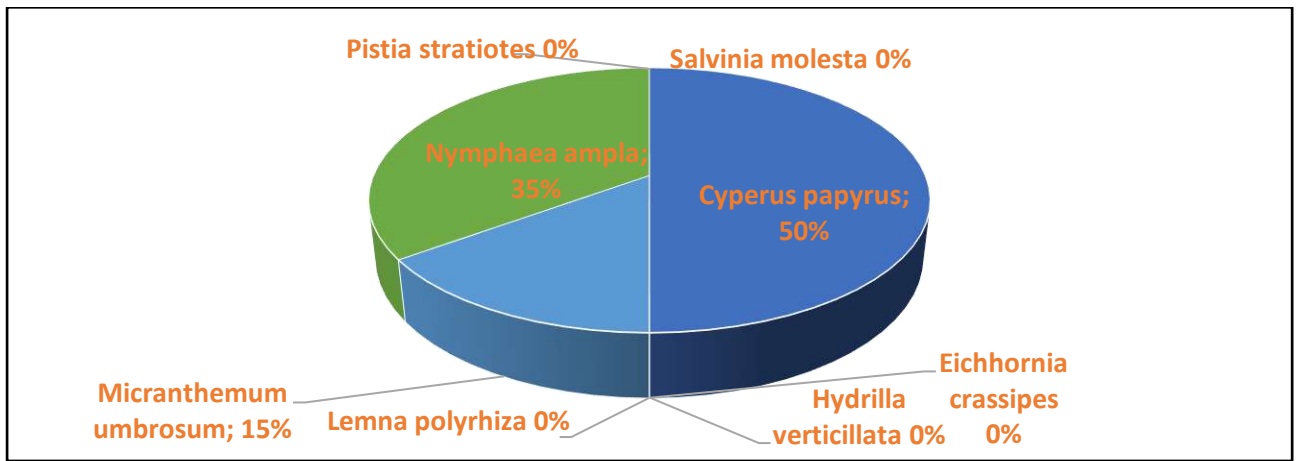


Figure 159 : Répartition des espèces dans la mare 5

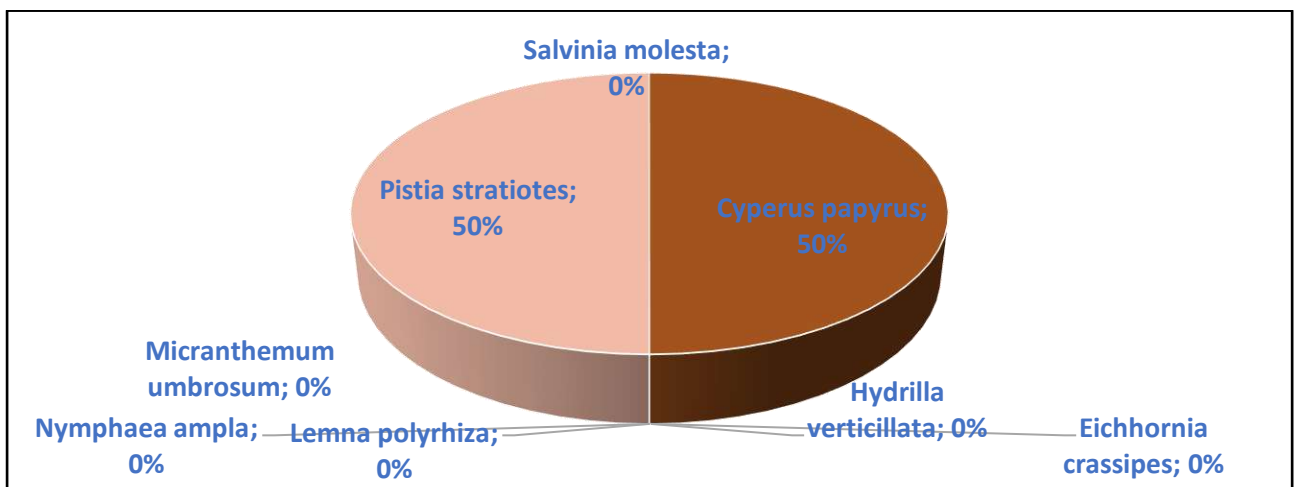


Figure 160 : Répartition des espèces dans la mare 8

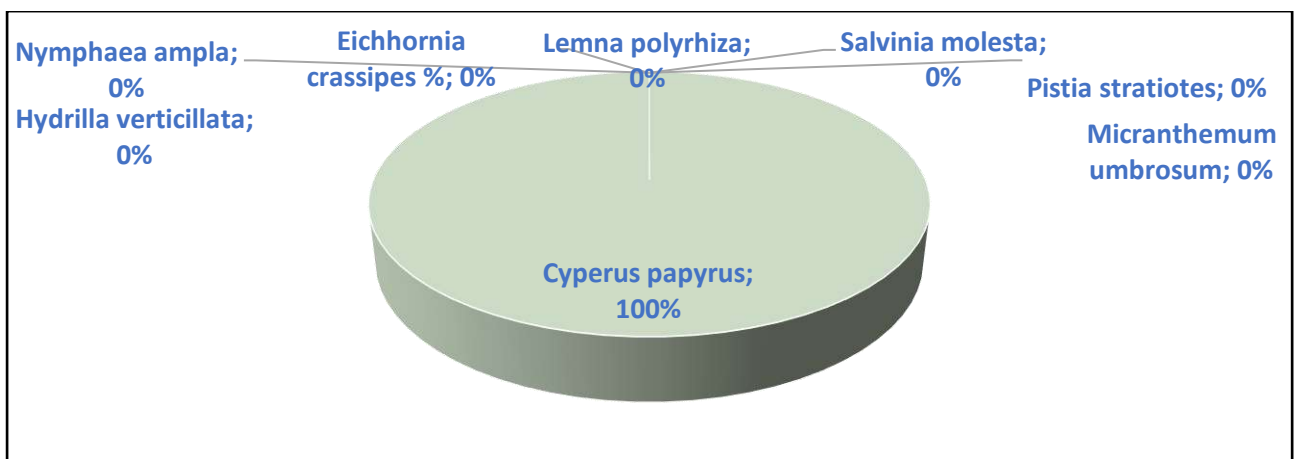


Figure 161 : Répartition des espèces dans la mare 9

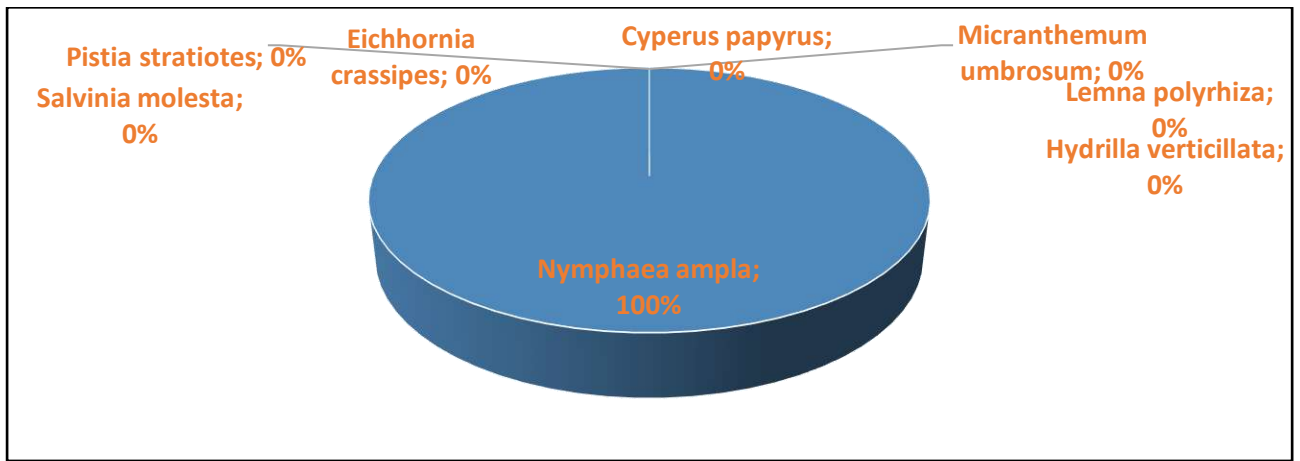


Figure 162 : Répartition des espèces dans la mare 10

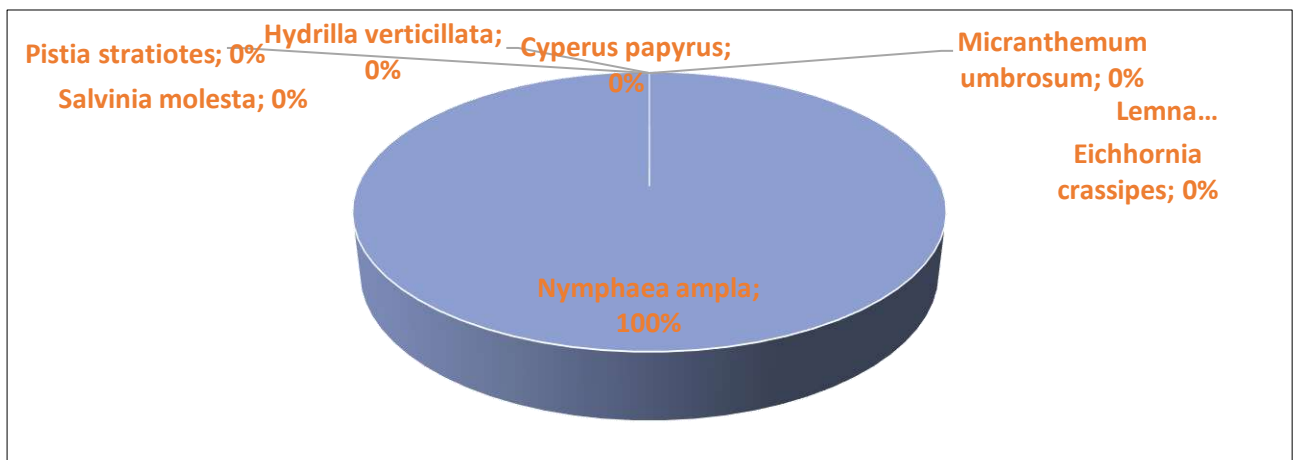


Figure 163 : Répartition des espèces dans la mare 11

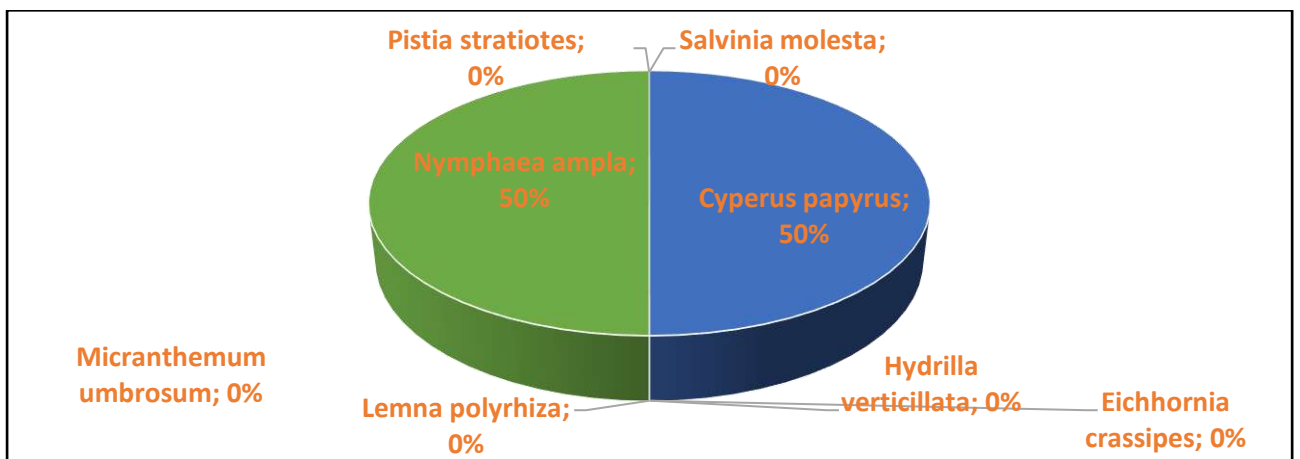


Figure 164 : Répartition des espèces dans la mare 14

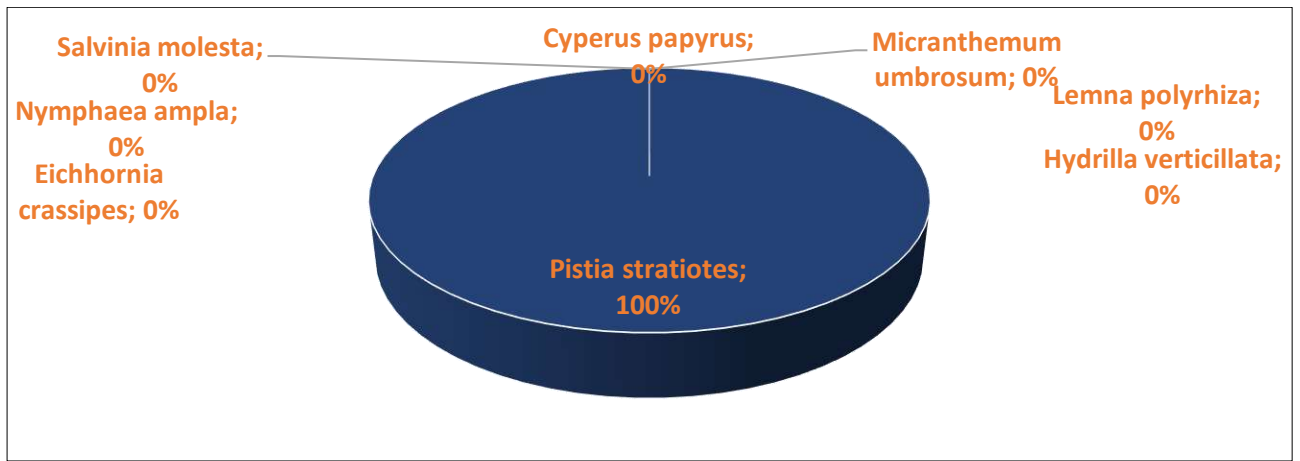


Figure 165 : Répartition des espèces dans la mare 15

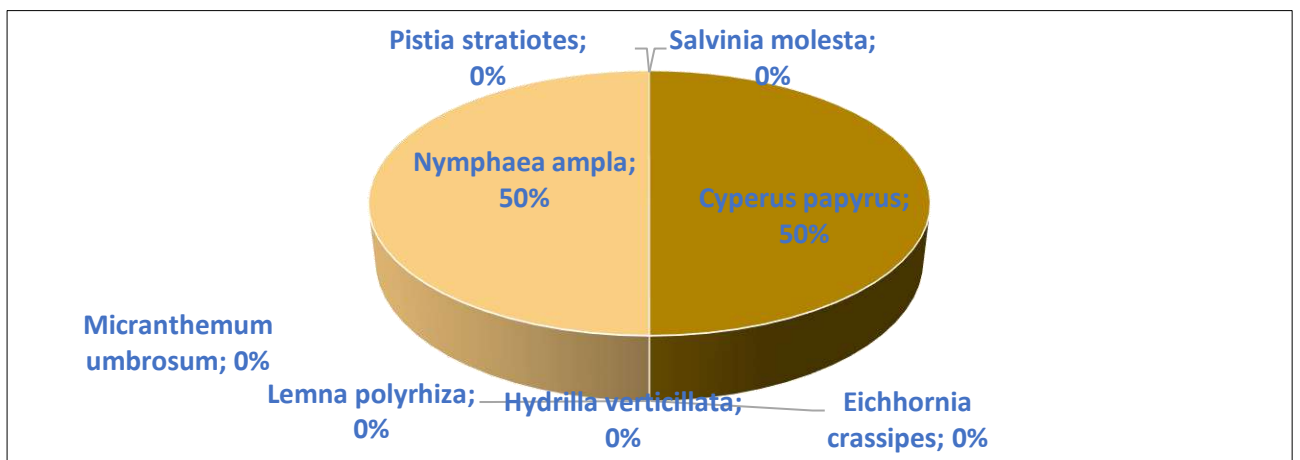


Figure 166 : Répartition des espèces dans la mare 17

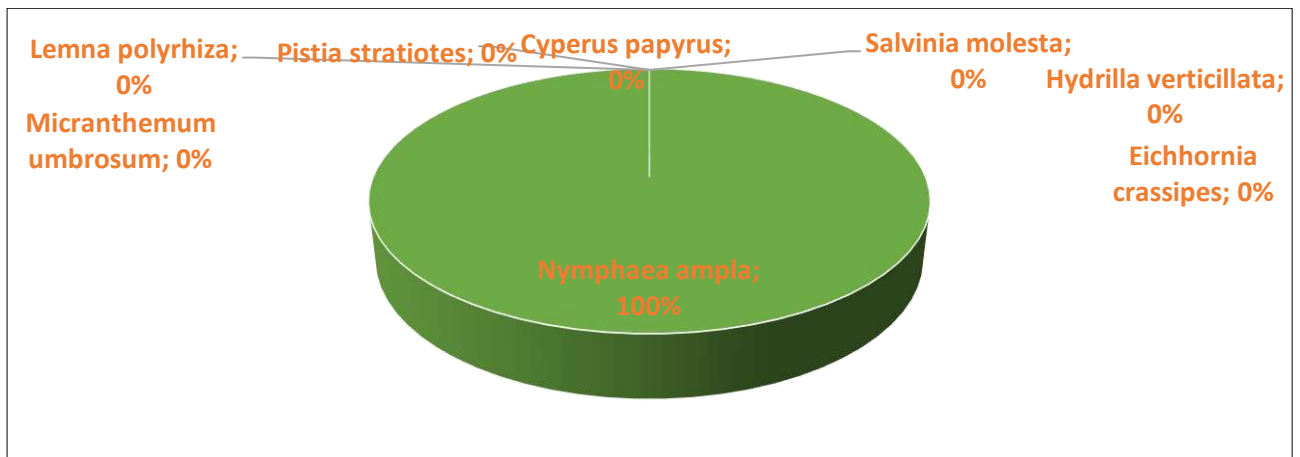


Figure 167 : Répartition des espèces dans la mare 18

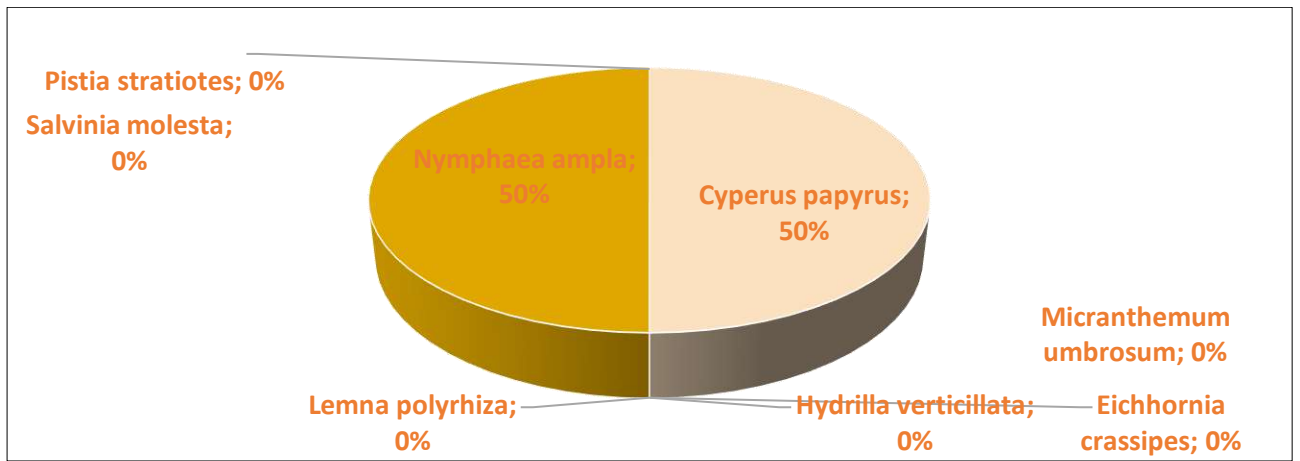


Figure 168 : Répartition des espèces dans la mare 20

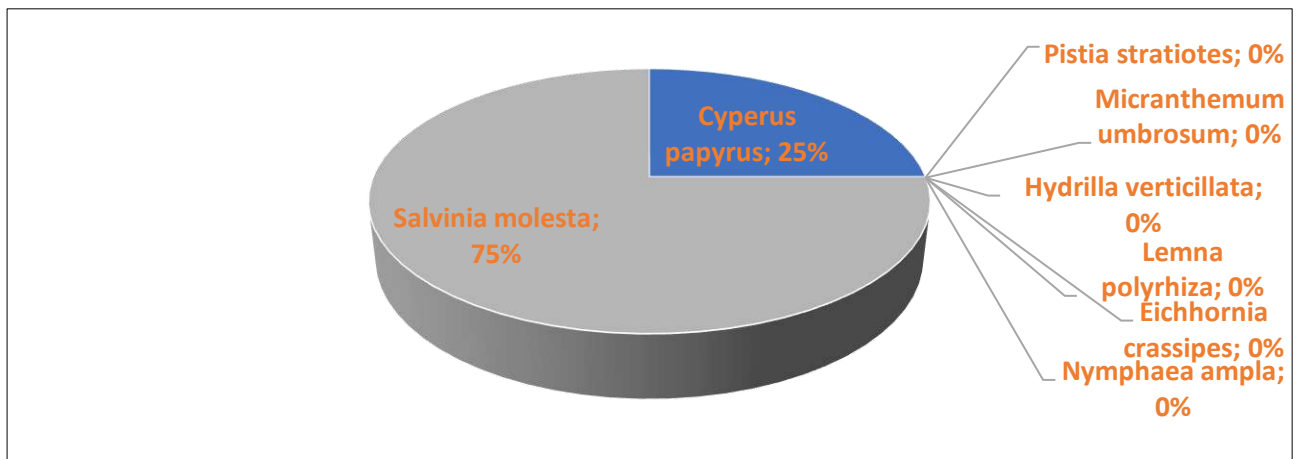


Figure 169 : Répartition des espèces dans la mare 21

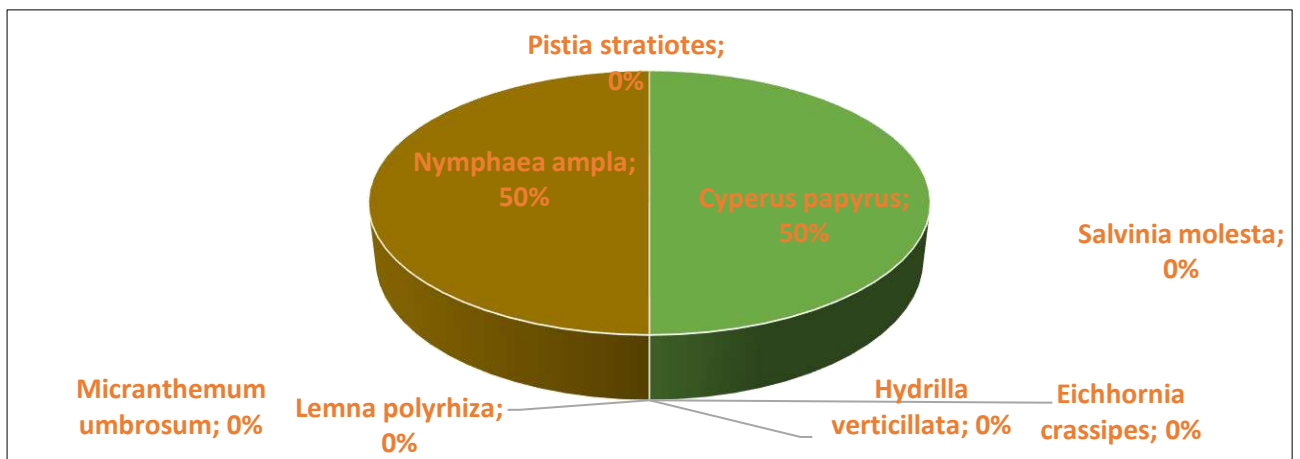


Figure 170 : Répartition des espèces dans la mare 22

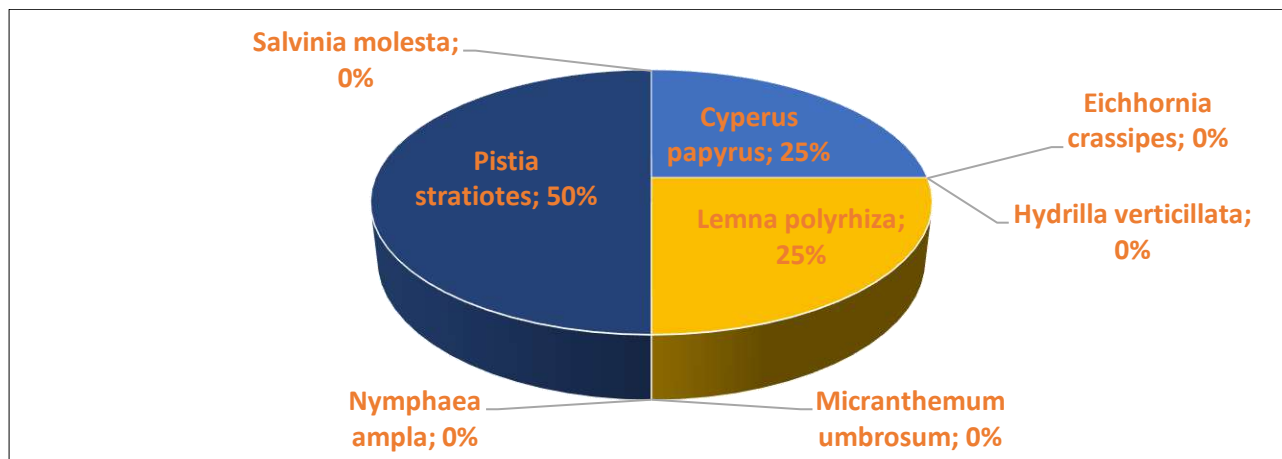


Figure 171 : Répartition des espèces dans la mare 23

Le recensement de notre première prospection nous a permis de dresser un inventaire de 8 espèces végétales (Annexe 9). La deuxième prospection nous a confirmé le nombre d'espèce rencontré lors de notre premier inventaire. D'un point de vue quantitatif, le peuplement des mares est dominé par *Nymphaea ampla* et *Cyperus papyrus*. Les mares 6, 7, 8, 12 et 16 (Tableau 33) sont dépourvues de végétation. Nous allons maintenant indiquer les principales caractéristiques des huit espèces recensées.

Cyperus papyrus

Cette espèce est présente dans 12 mares sur 23 mares prospectées. Elle appartient à la famille des Cyperaceae. Elle se trouve dans un sol gorgé d'eau ou dans une eau peu profonde. C'est un héliophyte. Elle colonise le pourtour de la mare. Son taux de répartition est assez variable (Annexe 9). Nous avons observé que cette espèce est faiblement à fortement représentée (5 % à 100 %) (Tableau 32). Elle domine dans la mare lorsqu'elle est seule. Nous la trouvons soit au bord ou quelques individus au centre. C'est le cas des mares 3 et 9 (Figures 157 et 161).

Eichhornia crassipes

Cette espèce est présente seulement dans une mare (Annexe 9). Elle appartient à la famille Pontederiaceae. Elle est typique des milieux stagnants. Son taux de répartition est de l'ordre de 5 %. C'est espèce est peu abondante dans cet habitat (Annexe 9).

Hydrilla verticillata

Cette espèce est également présente dans une mare (Annexe 9). Elle appartient à la famille Hydrocharitaceae. Elle se répartit dans la mare qu'à 10 % dans notre premier inventaire. Nous avons remarqué lors de notre seconde prospection, elle dominait la mare à 75 % en faisant disparaître *Eichhornia crassipes* (Figure 155).

Lemna polyrhiza

Cette espèce est aussi présente dans une mare (Annexe 9). Elle appartient à la famille Lemnaceae. Son taux de répartition est de 100 % dans la mare 3 (Figure 157) et 25 % dans la mare 23 (Figure 171)

Micranthemum umbrosum

Cette espèce est aussi présente dans deux mares (Annexe 9). Elle appartient à la famille Scrophulariaceae. Son taux de répartition est relativement faible (Figure 155) et varie de 5 % à 15 %. C'est également une espèce assez rare dans les mares. Nous l'avons aperçu dans une autre mare en 2021. Sinon, elle est plutôt observée dans les caniveaux ruisselant des bords des routes.

Nymphaea ampla

Cette espèce est présente dans dix mares (Annexe 9). Elle appartient à la famille Nymphaeaceae. Son taux de répartition est assez varié. Il est compris entre 25% et 100 %. Elle est assez fréquente dans notre île (Figures 155,158,159,161,163,164,166,167,166,170).

Pistia stratiotes L.

Cette espèce est aussi présente dans cinq mares (Annexe 9). Elle appartient à la famille Araceae. Son influence est assez remarquable par son taux de répartition de 25 % à 100 % (Figures 155,158,100,165,171).

Salvinia molesta D. S. Mitch.

Cette espèce est présente uniquement que dans une mare (Annexe 9). Elle appartient à la famille Salviniaceae. Cela n'exclut pas sa prolifération dans d'autres habitats d'eau, où nous l'avons observée en Martinique (étang et rivière) (Figure 169).

Le phénomène de compétition interspécifique en images

Les photos qui suivent, prises sur plusieurs mois, illustrent le phénomène de compétition interspécifique des plantes aquatiques dans une mare que nous avons étudiée.



Figure 172 : Compétition interspécifique dans la mare Moulin l'Etang, Mai 2021, Peguy Major©

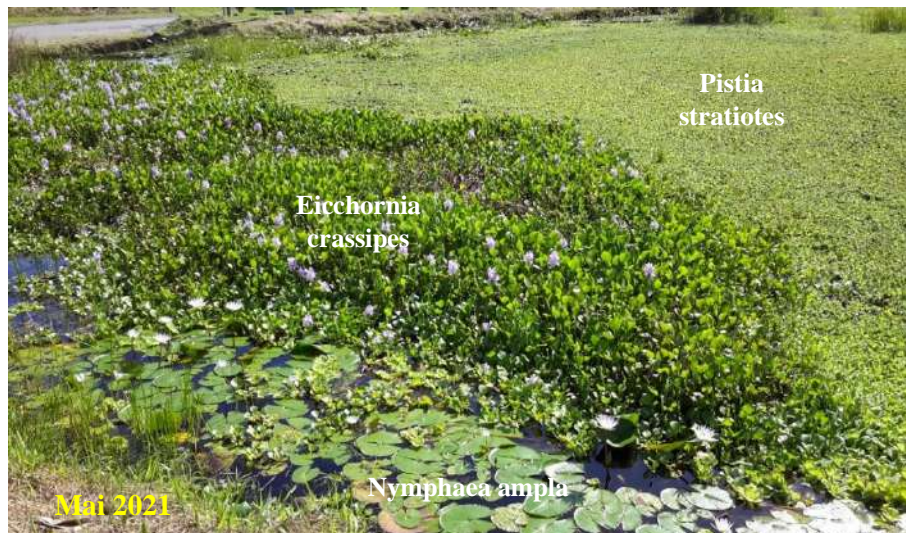


Figure 173 : Compétition interspécifique dans la mare Moulin l'Etang, 2021, Peguy Major©



Figure 174 : Compétition interspécifique dans la mare Moulin l'Etang, 2021, Peguy Major©

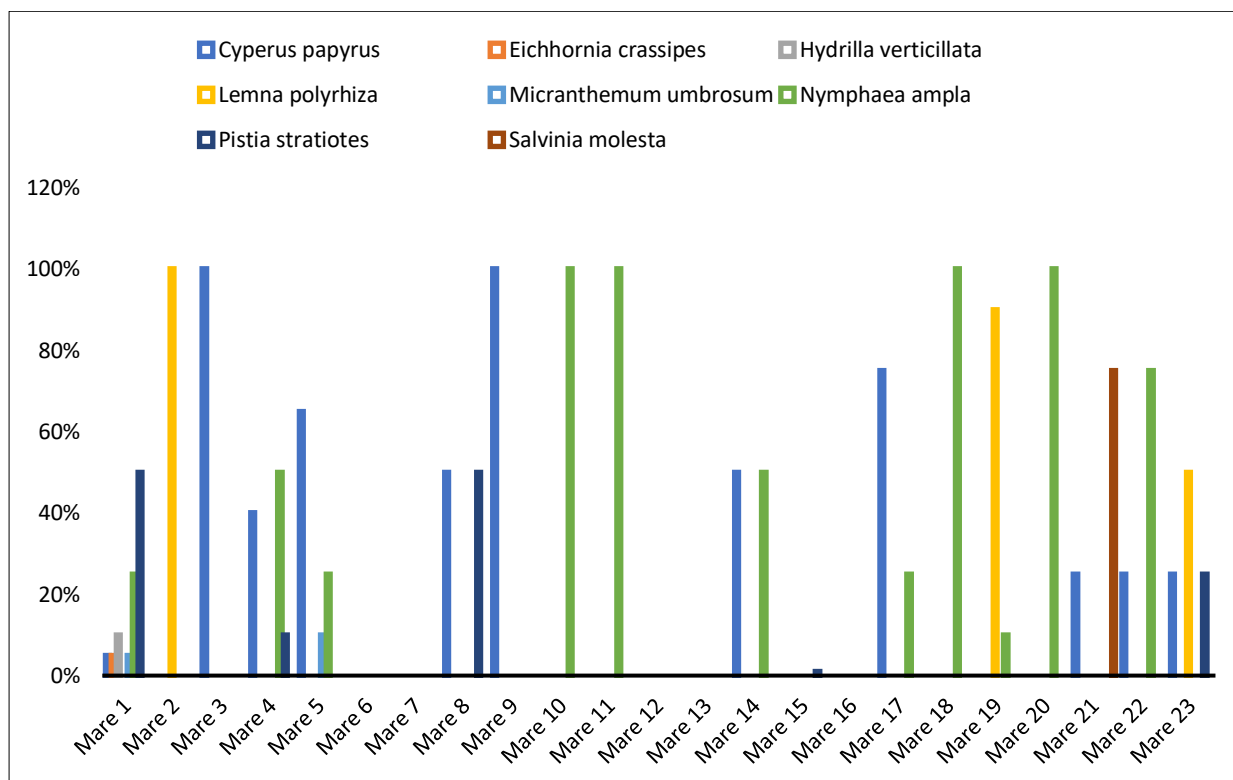


Figure 175 : Répartition des espèces aquatiques dans les mares (Première prospection)

Mare 1 : Basse-Pointe ; **Mare 2** : Ajoupa-Bouillon ; **Mare 3** : Trinité ; **Mare 4** : Schoelcher ; **Mare 5** : Schoelcher ; **Mare 6** : Schoelcher ; **Mare 7** : Schoelcher ; **Mare 8** : Schoelcher ; **Mare 9** : Schoelcher ; **Mare 10** : Anse d'Arlet ; **Mare 11** : Anses d'Arlet ; **Mare 12** : Anses d'Arlet ; **Mare 13** : Anses d'Arlet ; **Mare 14** : Anses d'Arlet ; **Mare 15** : Anses d'Arlet ; **Mare 16** : Anses d'Arlet ; **Mare 17** : Anses d'Arlet ; **Mare 17** : Anses d'Arlet ; **Mare 19** : Anses d'Arlet ; **Mare 20** : Anses d'Arlet ; **Mare 21** : Sainte-Luce ; **Mare 22** : Le Marin ; **Mare 23** : Sainte-Anne.

Tableau 33 : Table de correspondance entre le code d'abondance-dominance (AD code), l'indice quantitatif d'abondance (AD num.) et le recouvrement moyen, minimum et maximum

| | AD code | AD num. | Rec. moy. | Rec. Min. | Rec. max. |
|--------------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Très peu abondants | r | 0.1 | 0.03 % | 0 % | 0.1 % |
| Peu abondant | + | 0.5 | 0.3 % | 0.1 % | 1 % |
| Assez abondant | 1 | 1 | 3 % | 1 % | 5 % |
| Très abondant | 2 | 2 | 14 % | 5 % | 25 % |
| Quelconque | 3 | 3 | 32 % | 25 % | 50 % |
| Quelconque | 4 | 4 | 57 % | 50 % | 75 % |
| Quelconque | 5 | 4 | 90 % | 75 % | 100 % |

(Source : Gillet, 2000)

Tableau 34 : Les types biologiques

| | TYPES BIOLOGIQUES | | | | | | | |
|-------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| | HELOPHYTE | HYDROPHYTES | | | | | | |
| | <i>Cyperus papyrus</i> | <i>Eichhornia crassipes</i> | <i>Hydrilla verticillata</i> | <i>Lemna polyrhiza</i> | <i>Micranthemum umbrosum</i> | <i>Nymphaea ampla</i> | <i>Pistia stratiotes</i> | <i>Salvinia molesta</i> |
| Mares | AD num. | AD num. | AD num. | AD num. | AD num. | AD num. | AD num. | AD num. |
| 1 | 2 | 2 | 2 | | 0.1 | 2 | 2 | |
| 2 | | | | 4 | | | | |
| 3 | 1 | | | | | | | |
| 4 | 1 | | | | | 2 | 0.5 | |
| 5 | 2 | | | | 0.1 | 1 | | |
| 8 | 1 | | | | | | 1 | |
| 9 | 1 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | 2 | | |
| 11 | | | | | | 2 | | |
| 14 | 1 | | | | | 1 | | |
| 15 | | | | | | | 0.5 | |
| 17 | 2 | | | | | 1 | | |
| 18 | | | | | | 2 | | |
| 19 | | | | 4 | | 0.1 | | |
| 20 | | | | | | 2 | | |
| 21 | 1 | | | | | | | 4 |
| 22 | 1 | | | | | 2 | | |
| 23 | 1 | | | 4 | | | 3 | |
| Total | 14 | 2 | 2 | 15 | 0.2 | 15.1 | 7 | 4 |

Tableau 35 : Spectre biologique

| Types biologiques | CAD | Pourcentages |
|-------------------|------|--------------|
| Hélophytes | 14 | 23.60 % |
| Hydrophytes | 45.3 | 76.39 % |
| Total | 59.3 | 100 % |

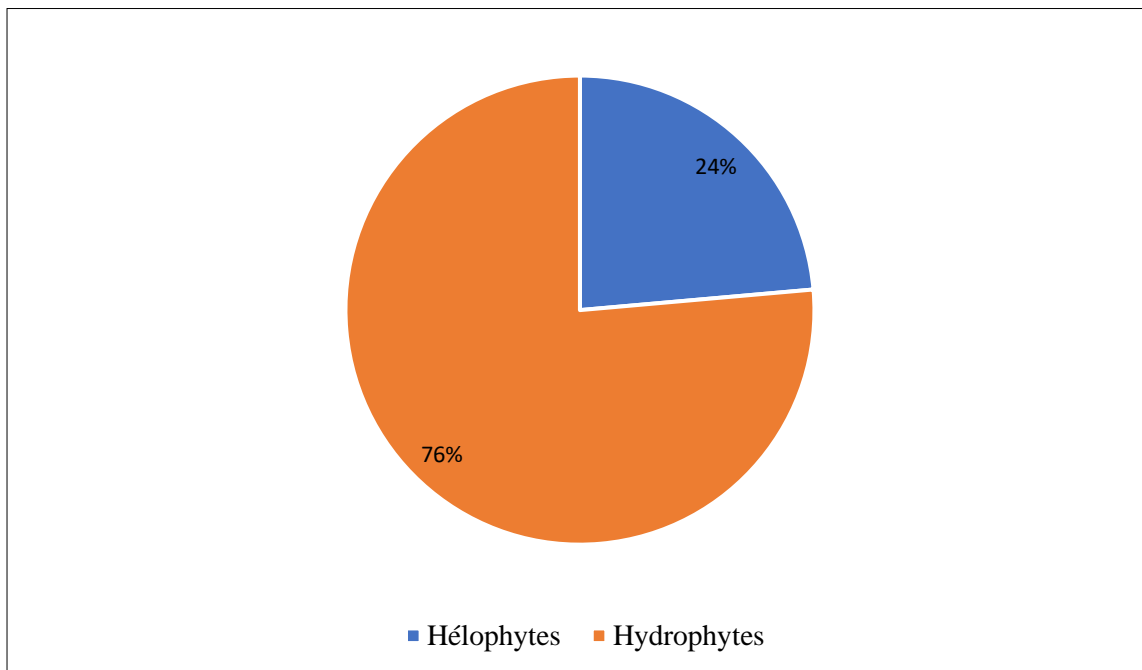


Figure 176 : Spectre biologique des espèces aquatiques

Commentaires

Le spectre biologique est construit à partir du pourcentage d'espèces de chaque type biologique. La végétation de nos mares comprend approximativement 2 % de héliophytes et 76 % d'hydrophytes (Figure 176).

Hydrophytes

C'est le type biologique dominant avec sept espèces *Cyperus papyrus*, *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, *Lemna polyrhiza*, *Micranthemum umbrosum*, *Nymphaea ampla*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta* soit 76 % (Tableau 35). La *Nymphaea ampla* est assez fortement représentée sur tous les sites de la zone d'étude avec 33 % du total des hydrophytes. La *Lemna polyrhiza* est aussi importante soit 33 %. Nous avons observé qu'elle forme un tapis dense dans trois mares. Elle est considérée comme indicatrice de la pollution des eaux. Les autres espèces sont peu abondantes, colonisent très peu de mares et semblent parfois isoler.

Hélophyte

Ce type biologique vient en deuxième position après les hydrophytes. Il compte une espèce soit 24 % (Figure 176). La *Cyperus papyrus* constitue un peuplement assez dense.

Tableau 36 : Répartition des types d'hydrophytes

| Types d'hydrophytes | CAD | Pourcentages |
|---|------|--------------|
| Hydrophytes libres nageants | 26 | 57 |
| Hydrophytes fixées avec feuilles flottantes | 19.1 | 42 |
| Hydrophytes fixées avec feuilles immergés | 0.2 | 0.55 |
| Total | 45.3 | 100 % |

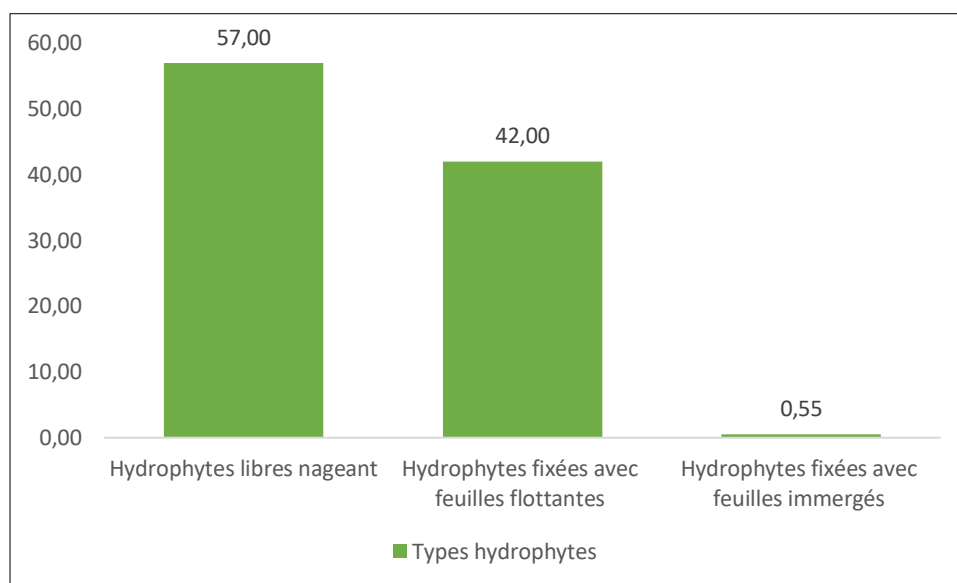


Figure 177 : Type biologique

Dans nos mares, nous avons distingué trois catégories de végétaux vasculaire aquatiques (Figure 177) :

- les hydrophytes libres nageants appelés aussi pleustophytes (57 %)
- Les hydrophytes fixées avec feuilles flottantes (42 %)
- Les hydrophytes fixées avec feuilles immergés (0.55 %)

Selon la classification de Raunkiaer (1934), les huit espèces appartiennent à 3 types biologiques (Tableau 37). Cette liste floristique est dominée par les hydrophytes avec sept espèces dont trois appartiennent à des hydrophytes libres à feuille flottantes ou nageantes (*Lemna polyrhiza*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta*), et quatre à des hydrophytes fixées à feuilles flottantes ou submergées (*Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, *Micranthemum umbrosum*, *Nymphaea ampla*) (Den Hartog et Segal, 1964). Le type héliophytique est représenté par une seule espèce *Cyperus papyrus* (Figure 177).

Tableau 37 : Liste des espèces recensées dans les mares

| Familles | Espèces | Types biologiques |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| <i>Araceae</i> | <i>Pistia stratiotes</i> | Hydrophytes libres à feuilles flottantes |
| <i>Cyperaceae</i> | <i>Cyperus papyrus</i> | Hélophytes |
| <i>Hydrocharitaceae</i> | <i>Hydrilla verticillata</i> | Hydrophytes fixées à feuilles flottantes |
| <i>Lemnaceae</i> | <i>Lemna polyrhiza</i> | Hydrophytes libres à feuilles flottantes |
| <i>Scrophulariaceae</i> | <i>Micranthemum umbrosum</i> | Hydrophytes fixées à feuilles submergées |
| <i>Nymphaeaceae</i> | <i>Nymphaea ampla</i> | Hydrophytes fixées à feuilles flottantes |
| <i>Pontederiaceae</i> | <i>Eichhornia crassipes</i> | Hydrophytes fixée feuilles flottantes |
| <i>Salviniaceae</i> | <i>Salvinia molesta D. S. Mitch</i> | Hydrophytes libres à feuilles flottantes |

Les 18 relevés des 18 mares ont été soumis à trois analyses factorielles, et à une classification ascendante hiérarchique.

Nous constatons que le dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique (Figure 178) a permis d'identifier deux groupes homogènes.

Le premier groupe rassemble les plantes aquatiques enracinées (rhizophytes). Le deuxième groupe est celui des plantes aquatiques non enracinées.

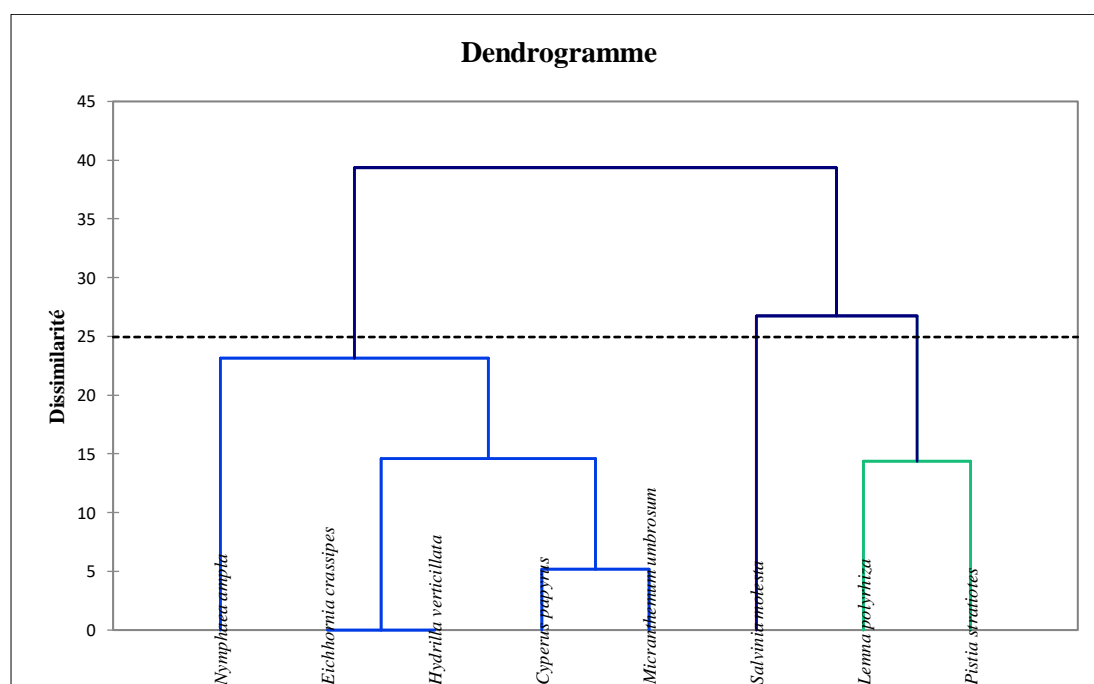


Figure 178 : Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des espèces des 18 mares

La première AFC (Figure 179) ne montre pas la répartition des 2 groupes principaux des plantes aquatiques. Nous avons supprimé la mare 21 occupée par une seule espèce *Salvinia molesta* en raison de son taux de recouvrement (75 %) et de sa fréquence (1 mare).

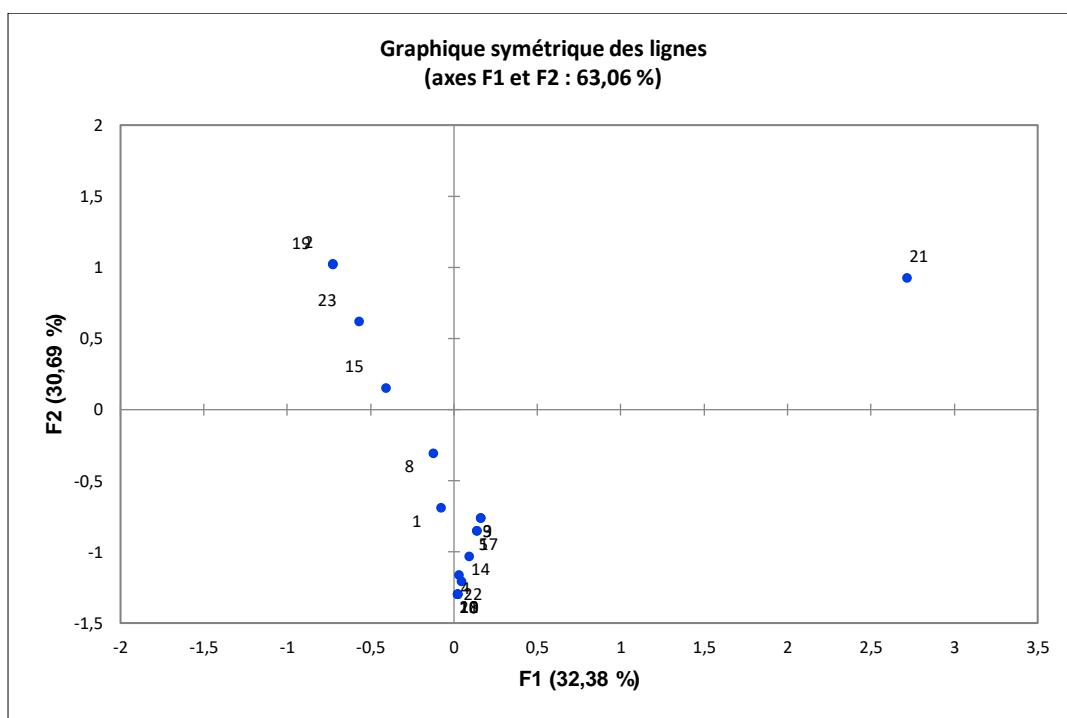


Figure 179 : AFC 1

L'AFC 2 a été réalisée sur 17 mares. Elle oppose les espèces aquatiques enracinées à un groupe de plantes aquatiques non enracinées (Figure 180) comme lors de la classification ascendante hiérarchique.

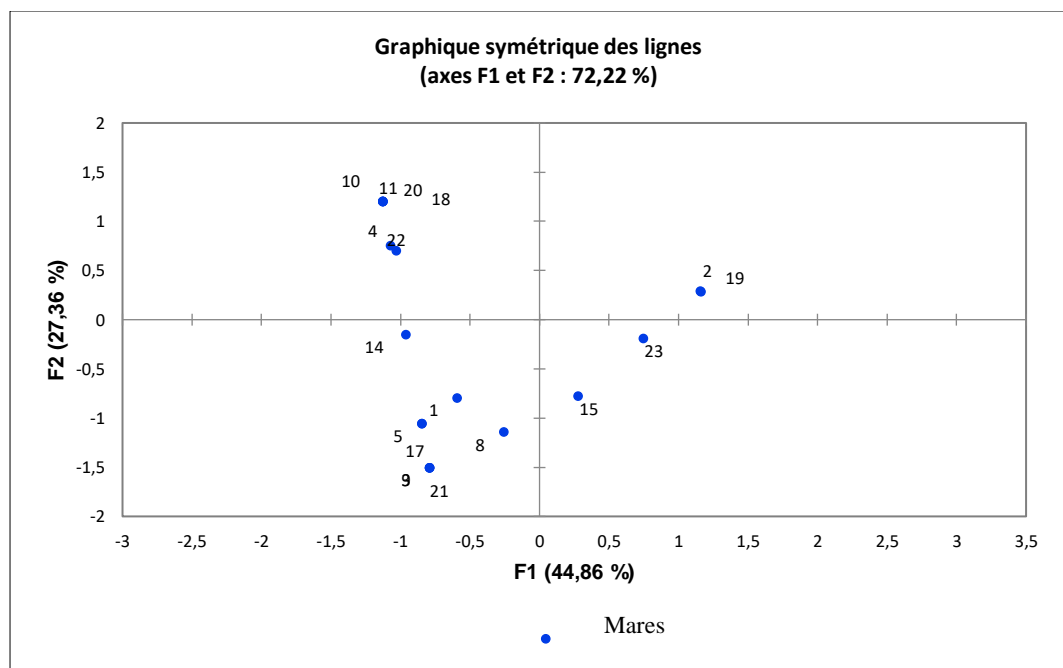


Figure 180 : AFC 2

Afin d'affiner les résultats relatifs au premier groupe, nous avons effectué une troisième AFC (Figure 181) et nous avons éliminé trois espèces de cinq mares. Les mares 19 et 23 occupent des mares forestières (*Cyperus papyrus*, *Nymphaea ampla*) tandis que les mares 1,4 et 8 sont des mares de savanes (*Pistia stratiotes*).

Le plan factoriel des axes 1 et 2 montre que les 17 mares se répartissent en 3 groupes principaux.

Ces résultats ne sont pas confirmés par la classification ascendante hiérarchique (Figure 178) réalisée sur les 18 mares. Ces analyses classent les plantes aquatiques des mares en trois types de végétaux se développant au sein et en bordure des mares :

- les végétaux non fixés (pleustophytes) dominés par des hydrophytes libres à feuilles flottantes (*Lemna polyrhiza*, *Pistia stratiotes* et *Salvinia molesta* D. S. Mitch) ;
- les végétaux fixés dominés par des hydrophytes fixées à feuilles flottantes ou feuilles submergées (*Hydrilla verticillata*, *Eichornia crassipes*, *Micranthemum umbrosum*, *Nymphaea ampla*) ;
- les végétaux herbacés amphibies (hélophyte) dominés par une espèce en bordure des mares (*Cyperus papyrus*).

Le premier groupe se rapporte exclusivement à des mares forestières. La *Lemna polyrhiza* apprécie les zones ombragées et calmes. Le deuxième et le troisième groupe sont occupés par des mares forestières et de savanes.

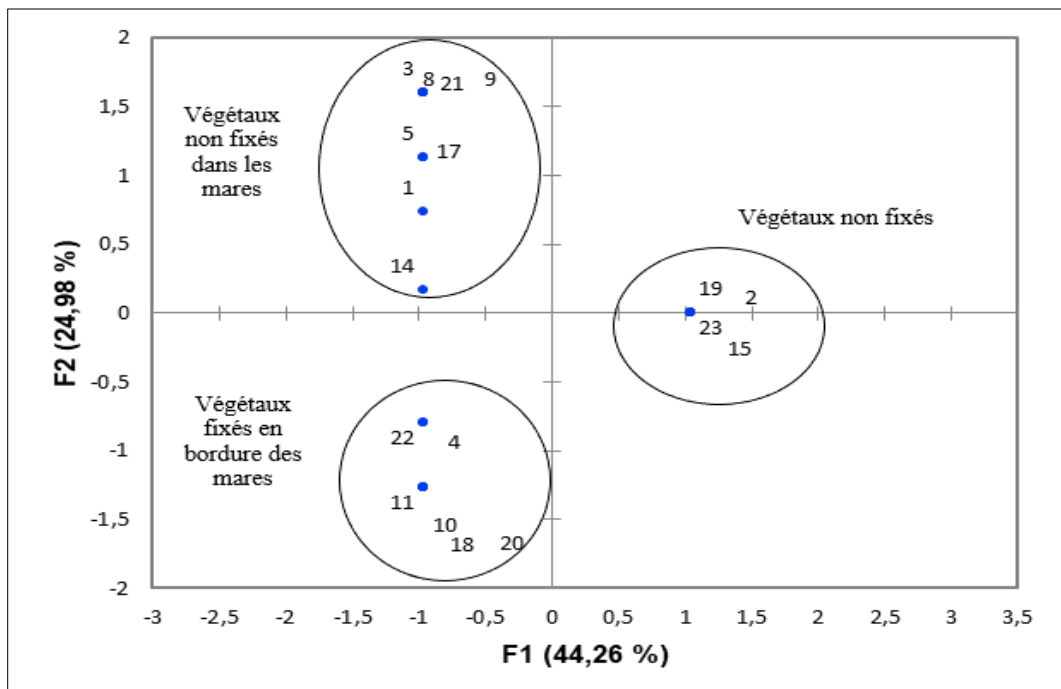
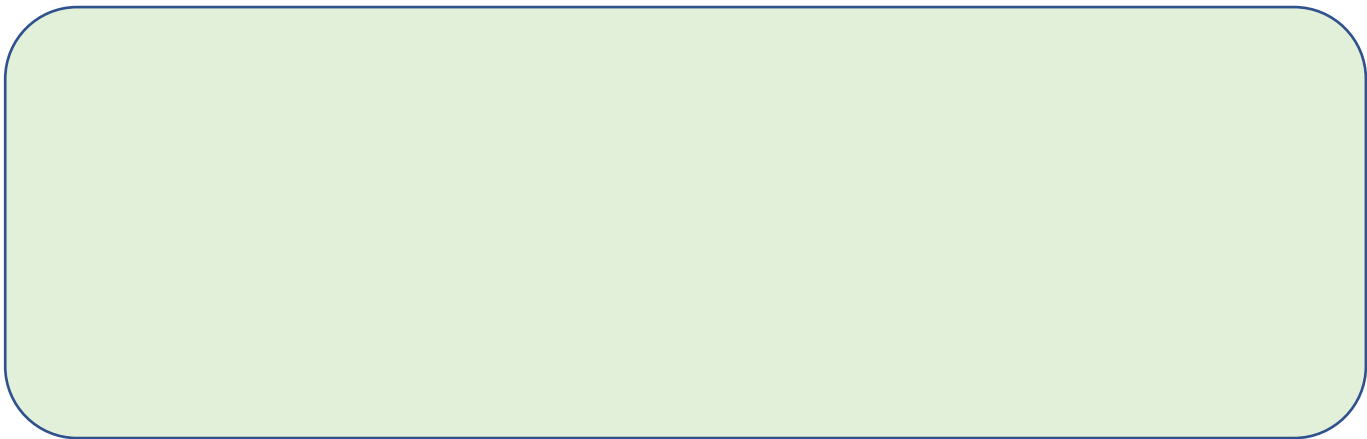


Figure 181 : AFC 3



PARTIE IV : DISCUSSION

CHAPITRE 6 : DISCUSSION

Les écosystèmes lenticques, nos petites mares insulaires, constituent un type de milieu humide très intéressant et très fragile. L'analyse des dynamiques spatiales, géomorphologiques, hydrologiques et floristiques nous ont permis de caractériser ces mares insulaires.

6.1 Typiques des mares en insularité géographique

6.1.2 L'évolution des écosystèmes lenticques de 1950 à nos jours

Les mares sont largement distribuées sur notre espace insulaire. Ces biotopes aquatiques se concentrent essentiellement au sud de l'île (Figure 182). Nous nous sommes posé la question à savoir si le nombre de mares a augmenté ou diminué de 1950 jusqu'à nos jours.

Nous avons réalisé en premier lieu, une carte de localisation des mares en 1950, carte issue de notre travail théorique. Celle-ci constitue des données appréciables même si sa précision peut être imparfaite. Cette carte ancienne 1950 nous montre la répartition des mares à l'échelle géographique de la Martinique. Nous avons distingué plusieurs secteurs. Tout d'abord, les secteurs Nord et Centre apparaissent vides.

En revanche, l'autre abrite une très forte concentration. Il s'agit de la partie méridionale de la Martinique, où douze communes héberge en permanence plus de 3 mares par km², couvrant une superficie totale de 392 km² pour environ 250 mares. Cependant, nous n'avons eu aucun moyen de connaître avec précision l'état général des mares au début des années 1950 par manque de sources. Nous avons recensé 262 mares.

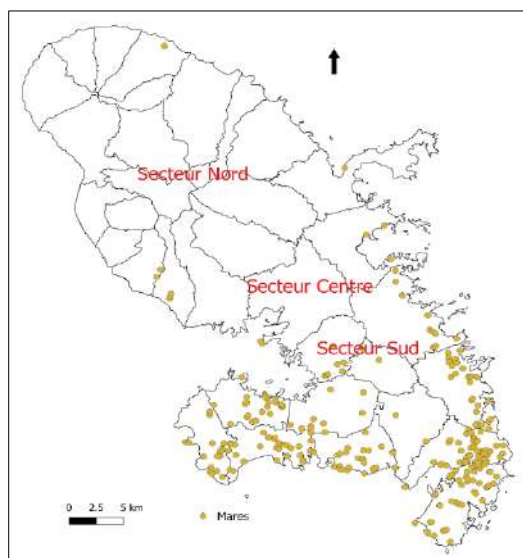


Figure 182 : Carte de la répartition géographique des mares en 1950
(Réalisation Peguy Major)

L'inventaire à partir d'un fond cartographique IGN v2 nous a permis de recenser 620 mares, Toutefois, ce fond cartographique s'avère aujourd'hui utile en matière de localisation car elle est assez complète et permet d'identifier avec précision et lisibilité les surfaces d'eau selon l'Institut national de l'information géographique et forestière.

Nous avons pu constater une augmentation de mares localisées sur cette carte datant de 2017. Trois secteurs sont aussi à distinguer (Figure 183).

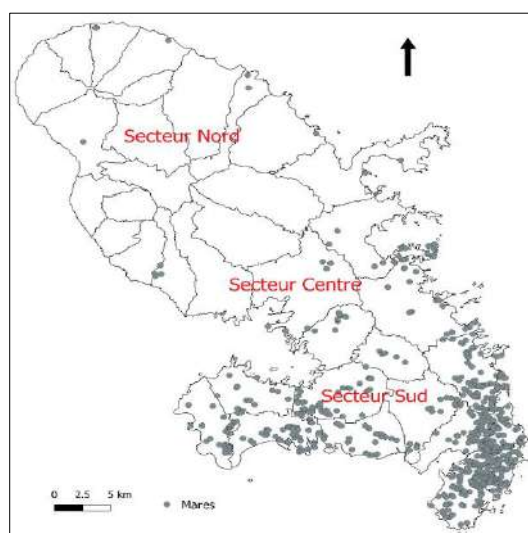


Figure 183 : Cartographie de la répartition des mares en 2017
(Réalisation Peguy Major)

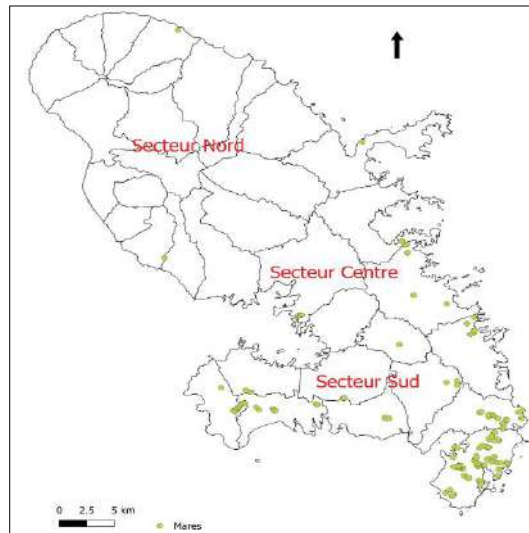


Figure 184 : Carte de la répartition des mares d'aujourd'hui
(Réalisation Peguy Major)

La photo-aérienne nous montre un léger un changement spatial. En effet, nous avons inventorié environ 150 mares. De faibles concentrations apparaissent (Figure 185). Malgré la baisse enregistrée, ces mares sont fortement localisées dans le Sud de l'île (l'exemple de la commune de Saint-Anne).

Durant nos prospections, nous avons identifié 42 mares sur le terrain sur 10 communes. Les mares observées appartiennent à des mares forestières et des mares de savane.

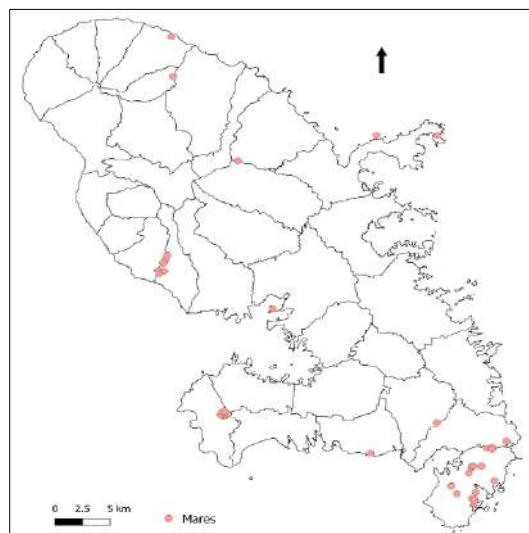


Figure 185 : Carte de la répartition des mares sur le terrain

Toutes les concentrations de ces mares ont une origine qui n'est pas contemporaine. Il eut été intéressant de connaître à quelles dates sont-elles apparues mais nous n'avons pas pu disposer de données avant 1950. L'analyse de ces cartes nous présente une évolution assez importante

constatée au cours de cette période (1950 jusqu'à nos jours) et qui nous permet de tirer certaines conclusions.

Sur la base de ces résultats, nous pouvons observer que :

Les mares sont fortement localisées dans le Sud

Le facteur qui explique la forte concentration des mares dans le Sud depuis 1950 est climatique. En effet, cette partie de l'île est soumise à un bioclimat sec. Les mornes de Rivière-Pilote sont les régions les moins sèches, car les reliefs sont encore assez hauts et les alizés venus du Nord-Est les frappent de plein fouet. Mais vers l'Ouest, les mornes de la presqu'île du Diamant sont déjà trop éloignés de l'Atlantique et une partie du pays est sous le vent c'est-à-dire abritée par les mornes de Rivière-Pilote. Les communes de Rivière-pilote et des Anses d'Arlets ne reçoivent que 1250 mm de pluie par an. La presqu'île de Saint-Anne, et tout le littoral au Sud du Vauclin sont touchés directement par l'alizé. Cependant, il n'y a pas de montagnes pour provoquer la pluie. Sauf exception, tout le Sud souffre de la sécheresse. Il y connaît parfois des carêmes désastreux. Le problème de l'eau se pose partout. Les habitants font des réserves dans des mares. Toutefois, des grands travaux ont été réalisés pour amener l'eau dans le Sud de la Rivière-Blanche.

Les mares sont de moins en moins présentes sur le territoire

De nombreuses mares sont donc absentes de ce référentiel géographique. La perte d'usage et le comblement expliquent aujourd'hui la faible quantité de mare. Peu d'agriculteurs entreprennent la réalisation de nouvelles mares dans leur exploitation agricole (observation personnelle). Notre étude montre que les comblements restent à ce jour supérieurs aux créations. Notre étude montre des différences dans l'entretien des mares. Ces différences d'usage sont à l'origine des comblements récemment observés.

Les normes sanitaires ainsi que l'arrivée de l'eau courante et des citernes ont sans nul doute porté préjudice aux mares et peuvent expliquer l'augmentation importante de comblement sur notre territoire insulaire. Les comblements peuvent aussi s'expliquer par des éléments historiques. Les mares ont longtemps été considérées comme des objets « malsains » en raison de la mauvaise qualité de l'eau qu'on leur conférait. Néanmoins, la conservation des mares passe avant tout par leur « propreté » afin d'en assurer l'alimentation en eau pour le bétail et les hommes. Des citernes ont été créés pour les remplacer.

Les types de mare

Sur la base de la typologie nationale des mares qui identifie 14 types de mares (Sajaloli *et al.*, 2001), nous avons identifié 4 mares forestières et 8 mares de savane au Nord (Tableau 32), 10 mares et 19 au Sud (Tableau 33). Les mares forestières sont très ombragées par la ceinture d'une végétation ligneuse. À la différence de ces dernières, les mares de savanes sont le plus souvent le résultat du creusement fait par l'homme, essentiellement pour abreuver le bétail, mais également pour d'autres activités. Plus éclairée que la mare forestière, elle abrite souvent une abondante végétation aquatique. Toutefois, ces mares qu'elles soient dispersées dans les savanes, cachées dans les forêts ou alignées le long des routes restent un élément important du paysage de la Martinique. En effet, nous avons observé d'abord que leurs profondeurs peuvent varier de quelques centimètres à plusieurs mètres (Figure 145 p.189). Et enfin, que certaines sont en eau toute l'année (Figure 142 p.188), mais beaucoup passent par des cycles de remplissage et d'assèchement (Figure 139 p.187).

6.1.3 Limites du protocole de recherche

Des critiques peuvent être formulées quant à la mise en place du protocole de recherche.

Trois méthodes ont été utilisées pour inventorier les mares sur notre espace insulaire :

- la couverture cartographique au 1/25 000ème et au 1/50 000^e ;
- les photographies aériennes ;
- les inventaires de terrain.

Ces méthodes proposées semblent en effet complémentaires mais ont aussi leurs propres limites. Nous avons constaté que la différence du nombre de mare entre 1950 et 2017 est considérable (262 à 618 mares). Les estimations peuvent être aléatoires. Cela est dû à la carte topographique au 1/25 000ème qui mésestime souvent le nombre de mare à cause de leur petite taille. C'est pourquoi, Teissier-Ensminger et Sajaloli (1997b) préconisent « [...] *de ne pas se fier aveuglement à la couverture topographique des cartes IGN au 1/25 000ème* ».

La méthode de la photographie aérienne rencontre aussi des inconvénients. Néanmoins, elle est pertinente pour inventorier les surfaces en eau supérieures à 2 000 m². Cependant la taille réduite de l'objet « mare » et son insertion dans le paysage (par exemple, mare située dans un espace boisé) font qu'il est difficile d'obtenir un inventaire exhaustif par cette simple méthode. Dans notre étude, environ 150 mares ont été localisées. Les vérifications de terrain sont donc

indispensables pour obtenir une distribution exhaustive des mares en complément de cette méthode. Cette technique nécessite également des connaissances préalables de terrain afin d'obtenir une représentation visuelle de ces objets sur une photographie verticale (observation personnelle).

La phase de terrain de ce travail n'a pas été étendue sur la totalité l'île pour des raisons d'organisation, d'échéance, d'accessibilité et de sécurité.

6.1.4 Paramètres biotiques et abiotiques caractérisant les mares

L'hydrologie, la morphologie, le contexte paysager, le sol, la physico-chimie de l'eau et la végétation sont autant de variables différentes qui font que chaque mare possède ses propres caractéristiques, et qu'aucun de ces biotopes aquatiques ne ressemble à un autre.

- *L'hydrologie*

La mare insulaire est alimentée principalement par les précipitations, le ruissellement de surface. Elle est donc souvent située sur un terrain imperméable. Elle peut parfois être créée par la remontée d'une nappe phréatique, ou encore par le débordement d'une rivière (Oertli et Frossart, 2013). De surcroît, l'eau est un critère essentiel, dans les mares, comme dans tout biotope humide, le plus structurant, pour le fonctionnement des écosystèmes.

Les résultats ont montré que les variations des niveaux d'eau sont fréquentes, avec un assèchement saisonnier de la mare pendant la période du carême, la plus chaude de l'année (Figure 187). En effet, certaines sont en eau toute l'année, mais beaucoup passent par des cycles de remplissage et d'assèchement (Figure 186). C'est ce que l'on appelle l'hydropériode.

Son régime hydrologique se décompose en deux périodes (Tableau) :

- une période de remplissage par les eaux de pluie qui correspond à la saison d'hivernage (Juillet- Novembre) ;
- une période d'assèchement, généralement plus courte, durant le début de l'inter-saison (Février à Avril).

Le régime de la mare, pendant la saison des pluies, se caractérise tout d'abord par un remplissage de la mare entre Juillet et novembre par les eaux de pluies et de ruissellement.

Pendant la saison sèche, le niveau d'eau de la mare baisse. Et quelques mois plus tard, son assèchement est peu ou total.

La mare est également soumise à une dynamique sédimentaire plus ou moins vif. Celui-ci peut à l'occasion mener à son comblement progressif (Oertli et Frossard, 2013). Son état hydrique passager est parfois menacé de comblement et cède la place à des formations de prairie et de boisement marécageux (Rougerie, 1993). C'est le cas de certaines de nos mares insulaires. Elles sont envahies par de la végétation (Figure 187).



Figure 186 : Mare en cours d'assèchement



Figure 187 : Mare en cours de comblement et envahie par la végétation

- *La morphologie*

Les mares échantillonnées ont des dimensions très variables (Tableau 27). Les mares les plus profondes présentent une surface importante. Leurs profondeurs peuvent varier de quelques centimètres à plusieurs mètres en fonction des saisons (Figure 187).

- *Le sol*

La dominante texturale de nos mares est plutôt argileuse (Tableau 24). Le rôle du sol est essentiel car il gère les réserves en eau disponibles pour les plantes et il met à leur disposition des éléments minéraux (Montgolfier, 1985 p.165).

- *Typologie et contexte paysager*

Sur la base de la typologie nationale des mares qui identifie 14 types de mares (Sajaloli *et al.*, 2001), nous avons identifié 11 mares forestières (Tableau 22) et 12 mares de savane réparties entre le nord et le sud de la Martinique. Les mares forestières sont très ombragées par une ceinture de végétation ligneuse. Nous avons observé que des phanérophytes peuvent former des fourrés ou des forêts à proximité des mares. À la différence de ces dernières, les mares de savanes sont le plus souvent le résultat du creusement fait par l'homme, essentiellement pour abreuver le bétail, mais également pour d'autres activités. Plus éclairée que la mare forestière,

elle abrite souvent une abondante végétation aquatique. Toutefois, ces mares qu'elles soient dispersées dans les savanes, cachées dans les forêts ou alignées le long des routes restent un élément important du paysage de la Martinique.

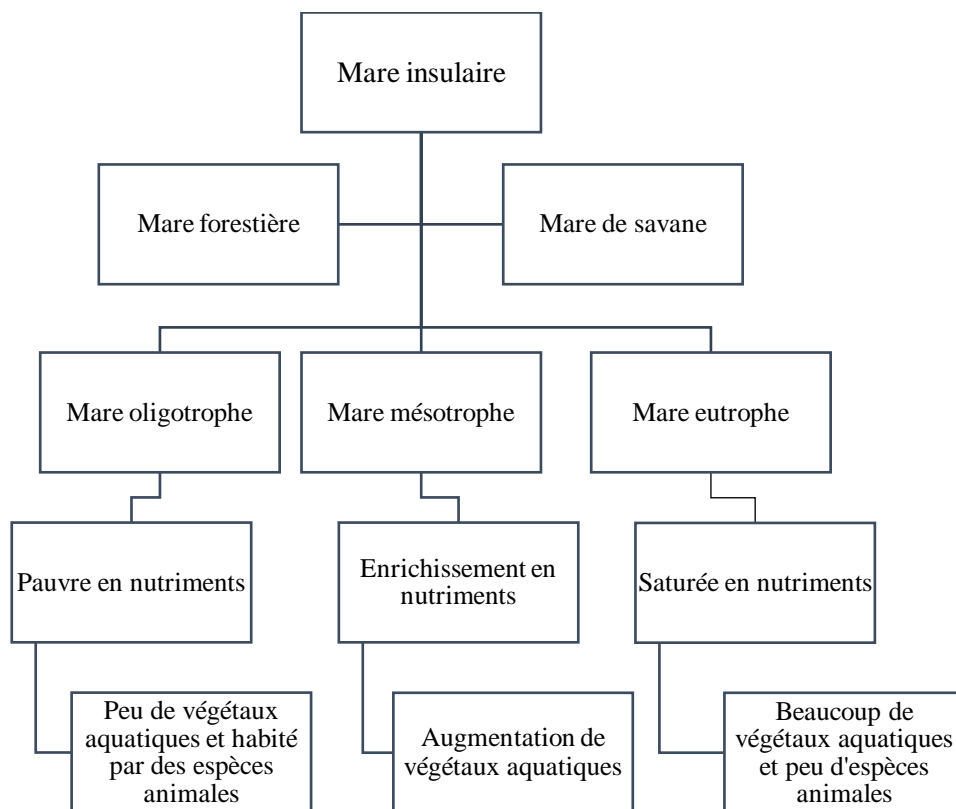


Figure 188 : Le processus de l'eutrophisation selon les apports en nutriments



Figure 189 : Exemple d'une mare forestière ne présentant en apparence des plantes aquatiques



Figure 190 : Exemple d'une mare forestière présentant une algue filamenteuse



Figure 191 : Exemple d'une mare de savane comblée par des sédiments

- *Les paramètres physico-chimiques*

Les spécialistes affirment que les mares artificielles ou naturelles se définissent par des paramètres physiques et chimiques (Rougerie,1993).

En ce qui concerne la qualité des eaux de la mare, les mesures de la conductivité indiquent une eau douce avec une minéralisation faible à moyen. En effet, la conductivité électrique mesurée est de 69 à 537 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductivité de l'eau est un paramètre très important sur le dynamique des peuplements (flore ou faune).

Les eaux sont considérées *oligotrophes* (pauvre en nutriments) si la conductivité est inférieure à 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, *mésotrophes* (moyennement riche en nutriments) quand la conductivité est comprise entre 100 et 300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et *eutrophes* (riche en nutriments) quand la conductivité est supérieure à 300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$.

Conformément à ces données scientifiques, nous déduisons que les eaux de nos mares échantillonnées sont soit oligotrophes, mésotrophes ou eutrophes (Figure 188). Nos données peu significatives ne nous permettent pas d'affirmer définitivement ces résultats.

D'après la littérature scientifique, contrairement aux mares des milieux ouverts agricoles, les mares forestières sont généralement mieux préservées (Figure 189) par rapport aux risques d'eutrophisation dus à des apports d'engrais ou à des comblements par des terres amenées et des gravats divers. Certaines mares peu ombragées favorisent la photosynthèse et par conséquent la prolifération de plantes aquatiques ou de matière organique végétale (Figure 16). Le pH des écosystèmes d'eau douce peut fluctuer considérablement. Le pH de 6,2 et 8,6 montre que les eaux de la mare sont proches de la neutralité.

Enfin, les valeurs obtenues lors des différentes analyses sur la qualité de l'eau montrent que même si certains paramètres restent dans les normes requises, une meilleure exploitation mériterait de récupérer des données sur une plus grande période.

- *La végétation*

Une autre caractéristique importante des mares de la Martinique est le poids qu'y exerce la végétation Elles sont colonisées uniquement par des espèces végétales aquatiques invasives. (Figure 192).



Figure 192 : Mare envahie par une espèce invasive

6.2 Distribution des végétaux aquatiques

6.2.1 Richesse et composition floristique

Nos mares colonisent des espèces exotiques envahissantes²³ (Soubeyran *et al.*, 2012). Nous ignorons dans quelle mesure les plantes aquatiques envahissantes se déplacent, par introduction²⁴ accidentelle ou volontaire (Maki et Galatowitsch, 2004). Certaines espèces se sont retrouvées dans la nature, libérées de leurs aquariums ou de leurs bassins d'ornement, ce mode d'introduction a favorisé la propagation d'espèces végétales comme l'exemple des plantes ornementales d'aquarium, *hydrilla verticillata* et *Eichhornia crassipes* (Soubeyran *et al.*, 2012)

Certaines espèces étendent rapidement leur aire de répartition et connaît une croissance considérable (Dutartre *et al.*, 2012). Ce sont les facteurs abiotiques et biotiques qui influencent des modifications de la distribution des plantes aquatiques dans cet écosystème lentique. La lumière est en général le facteur principal, même si la température et la composition chimique restent importantes. En outre, la compétition interspécifique bénéficiera des conditions que nous venons d'évoquer, certaines plantes se développeront plus vite que d'autres, selon ces conditions, menaçant celles qui ne seront plus adaptées.

²³ Une espèce exotique dite « envahissante » (ou « invasive » par assimilation à l'anglais), est une espèce exotique naturalisée qui se met à proliférer dans un nouvel habitat et à s'étendre géographiquement. Certains scientifiques utilisent le terme d'espèce exotique envahissante tandis que certains gestionnaires ou d'autres scientifiques préfèrent conserver le terme « d'invasive », dérivé de l'anglais, pour distinguer les espèces envahissantes d'origine exotiques des espèces autochtones (Levêque *et al.*, 2012).

²⁴ On parle d'introduction pour des espèces qui sont intentionnellement ou accidentellement introduites par l'homme dans un milieu qui est situé en dehors de l'aire de distribution naturelle de cette espèce (Levêque *et al.*, 2012).

Selon la bibliographie consultée (Maddi, 2014), il ressort de cela que cinq plantes aquatiques (*Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata* (L.F) Royle *Nymphaea ampla*, *Pistia stratiotes* L. et *Salvinia molesta* D. S. Mitch) ont été signalées jusqu'ici pour la Martinique. Notre inventaire de terrain, qui est loin d'être complet, nous a permis de recenser seulement trois espèces végétales semi-aquatiques et aquatiques (*Cyperus papyrus*, *Lemna polyrhiza* et *Micranthemum umbrosum*). La flore aquatique est relativement peu diversifiée puisque nous avons recensé que huit plantes aquatiques appartenant à sept familles, dont un héliophyte et sept hydrophytes (Tableau 30). Selon la littérature scientifique, ces espèces sont des espèces invasives (Annexe 6) invasives à l'échelle mondiale (Abati, 2021, Soubeyran et al., 2012a ; 2012b, Joseph 2004). Dans notre contexte local, elles sont considérées comme des espèces potentiellement invasives en raison de leur prolifération. Le faible nombre de mare prospectée ne permet pas d'affirmer le caractère envahissant de ces plantes aquatiques. Le relevé floristique de 2018-2019 ont montré que sur 23 mares, 16 sont envahies entre 1 à 6 espèces (Tableau 31). Celui de 2020-2021, 25 mares a révélé la présence de 25 espèces (Tableau 32). De plus, elles correspondent à des espèces localement invasives avec un impact faible sur des espaces anthropiques dans le paysage. Deux espèces *Cyperus papyrus* et *Nymphaea ampla* sont présentes dans plus de la moitié des mares (Tableau 33). De même, nous avons pu observer une ou trois espèces présentes dans une mare : *Hydrilla verticillata* (L.F) Royle, *Lemna polyrhiza*, *Pistia stratiotes* L. et *Salvinia molesta* D. S. Mitch (Tableau 33). À l'opposé, six espèces se retrouvent que dans la mare M2 (Figure 155). Nous constatons que l'espèce la plus répandue quel que soit le type de mare est la *Nymphaea ampla* présente dans 12 mares (Tableau 32). Sur les 23 mares, nous avons observé lors de notre première prospection l'absence de végétation sur six mares (Tableau 33). Les plantes aquatiques ne constituent pas un ensemble systématique homogène et nous les retrouvons dans de nombreuses familles. En fonction de leur mode de bourgeonnement et de leur adaptabilité, ces plantes hygrophiles sont qualifiées d'hydrophytes, d'héliophytes ou amphibie (Ramade 2009). Dans le cadre de notre étude, nous avons recensé sept hydrophytes (*Hydrilla verticillata* (L.F) Royle, *Lemna polyrhiza*, *Pistia stratiotes* L. et *Salvinia molesta* *Eichhornia crassipes*) et un héliophyte (*Cyperus papyrus*). La majorité est des rhizophytes : plantes aquatiques submergées, avec parfois des feuilles flottantes, et enracinées dans les vases benthiques (Barde, 1965 ; Barbault, 2008). Certaines d'entre elles sont des pleustophytes (plantes aquatiques non enracinées, flottant librement ou submergées). Nous avons distingué dans nos mares des plantes de berges qui ceinturent le biotope aquatique comme le *Cyperus papyrus* ; les plantes émergées comme la *Nymphaea ampla* ; les plantes flottantes telles que la

Pistia stratiotes L. (laitue d'eau) ou *Eicchornia crassipes* (jacinthe d'eau) et les plantes immergées par exemple la *Micranthemum umbrosum* (Barde, 1965). Nous avons observé également que certaines plantes aquatiques présentent une grande faculté d'adaptation aux conditions du milieu hôte. En effet, en période de sécheresse, des plantes nageantes ou submergées adoptent des formes terrestres (Grasmuck, 1994). C'est l'exemple de la *Pistia stratiotes* L. rencontrée dans la mare M2 (Figures 193 et 194). Cette richesse floristique est composée principalement d'espèces exogènes (Maddi 2014).



Figure 193: *Pistia stratiotes* s'adaptant sur le pourtour de la mare



Figure 194: *Pistia stratiotes* s'adaptant sur le pourtour de la mare

6.2.2 Un exemple de mare envahie par des espèces exotiques envahissantes

Pour mettre en avant cette situation d'équilibre écologique précaire, il nous a paru nécessaire de nous appuyer sur un exemple concret. Nous ne pouvons pas étudier toutes les mares insulaires, nous avons privilégié l'observation d'une mare qui semble la plus représentative des enjeux écologiques d'un écosystème insulaire ornementale. En cela, la mare Moulin l'Etang, situé au Nord-Est de la Martinique (Figure 195) constitue un exemple approprié d'une mare ornementale.

En effet, il existe une mare dans la commune de Basse-Pointe, d'après nos inventaires de terrain et cartographique. Cette mare anthropique est présente depuis 1950, elle avait été anciennement aménagée pour de nombreuses tâches (abreuvement, arrosage des cultures agricoles). Aujourd'hui, elle a perdu de son intérêt en raison de l'arrivée de l'eau courante et elle a désormais un rôle ornemental.

En plus de la flore (Figure 196), elle héberge une faune aviaire (oiseaux migrateurs) ; des amphibiens (crapauds, grenouilles) ; des libellules, des gallinules (poules d'eau) etc. (Figure 154).



Figure 195 : Localisation de la Mare M2 en 1950



Figure 196 : La mare de Moulin l'Etang

Or, notre travail de recherche a eu pour objet de s'interroger sur la répartition actuelle des espèces introduites en Martinique notamment celle des espèces végétales aquatiques.

Notre carte de la répartition des huit espèces herbacées aquatiques nous indique l'importance de l'invasion des espèces végétales aquatiques exogènes en Martinique liée aux productions humaines : notamment le réseau routier et les agro-systèmes.

De nombreux programmes de recherche ont été lancés au niveau international sur les propriétés des espèces invasives, dans l'objectif est d'essayer de prévoir le caractère invasif d'une espèce.

Ces travaux ont mis en évidence la diversité des traits biologiques des espèces invasives et la difficulté, si ce n'est l'impossibilité d'établir un profil-type d'une espèce invasive.

Nos connaissances scientifiques sur la répartition, la dynamique des populations et sur l'écologie des espèces aquatiques invasives restent encore incomplet dans notre espace insulaire. Cependant, pour l'instant, ces espèces restent potentiellement invasives.

L'évaluation des conséquences des invasions biologiques sur l'environnement demeure encore un sujet débattu. Certains chercheurs considèrent les espèces invasives comme de véritables « *fléaux écologiques* » et mettent en avant les multiples nuisances consécutives à leurs proliférations, comme, pour les habitats aquatiques, la fermeture des milieux limitant la pratique des loisirs nautiques ou de la pêche, l'entrave à la circulation des eaux (Muller, 2001).

Il est incontestable que les invasions d'espèces aquatiques ou sub-aquatiques provoquent une modification physique des milieux par comblement organique, sédimentation, atténuation de la lumière en profondeur, déterminant une dégradation de la qualité de l'eau (Dutartre *et al.*, 2012).

6.3 Gestion pour la préservation et la restauration des mares

6.3.1 Un biotope écologique hors du commun

N'étant pas classés, ces milieux lenticques ne bénéficient d'aucune mesure de protection. Ils sont menacés par de multiples perturbations anthropiques (captation d'eau, propagation d'espèces envahissantes, pollution).

Même si la mare ne répond plus aujourd'hui aux besoins d'antan, elle présente encore de multiples intérêts. C'est pourquoi, il est temps de les prendre en considération afin de les préserver et les restaurer. De nos observations, nos mares insulaires présentent surtout un intérêt écologique.

Tout d'abord, la mare joue un rôle hydrologique important, en récupérant l'eau des pluies, luttant ainsi l'inondation des terres et la diminution de l'eau. Il y a moins de ruissellement. Et elle absorbe l'excès d'eau, qu'elle restitue progressivement en période de sécheresse.

Ensuite, elle est un bon hébergement pour les espèces végétales et animales.

Elle participe à la régulation des microclimats. Ces biotopes aquatiques agissent sur le climat local par évaporation et évapotranspiration. Par évaporation, ils remplissent l'air d'humidité et participent à la formation des nuages qui, à leur tour, vont rendre cette eau. Par évapotranspiration, les plantes, en libérant de l'eau, contribueront à la conservation de l'humidité atmosphérique de l'air.

Une meilleure compréhension du fonctionnement écologique cet écosystème lentique apparaît indispensable pour une gestion à long terme de ce milieu humide dans le cadre d'un développement durable (Whigham, 1999).

Aujourd'hui, aucune protection officielle n'existe pour les mares. Le seul moyen légal de les protéger est de se référer aux espèces faunistiques ou floristiques qu'elles contiennent (Sajaloli, 2003).

Ces mares sont considérées comme des niches écologiques pour différentes espèces animales et notamment les oiseaux migrateurs, les poules d'eau, les amphibiens, les libellules etc. ;

Il n'en reste pas moins que sur les 42 mares recensées, une relève du public, les autres sont privées. Cependant, la préservation de ces biotopes aquatiques implique donc de gérer les mares, afin de les entretenir ou de les restaurer, d'autant que bon nombre d'entre elles sont d'origine anthropique.

Compte tenu du réchauffement climatique, il est plus que nécessaire de mettre en place une gestion des mares (Figure 197) parce que son eau et sa biodiversité constituent des supports incontournables et incontestables pour l'enrichissement du paysage.

6.3.2 Influence potentielle du changement climatique sur les mares aux Antilles

Depuis 1950, plusieurs observations ont indiqué une tendance générale au réchauffement climatique de la Terre. Celui-ci prévoit des changements des températures et des précipitations, influant sur l'hydrologie des mares. L'augmentation de la sécheresse pendant le carême ainsi qu'une diminution des pluies, pourraient provoquer des périodes de sécheresse pendant la saison sèche plus prononcées.

Pour l'année hydrologique 2020-2021, les faibles taux de précipitations dans notre espace insulaire, ont engendré un assèchement moyen des mares. L'assèchement des mares est lié à l'évapotranspiration, qui est accentuée en cas de hausse des températures, et à la présence des arbres à proximité des mares qui y puisent de l'eau.

Aux Antilles, le changement de température au cours du XXI^e siècle (en moyenne annuelle) est généralement moins marqué que sur la France hexagonale. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) établit des scénarios d'évolution, RCP appelés depuis 2014 « profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) » (Representative Concentration Pathways). Les trois scénarios montrent une augmentation de la température et une diminution à l'horizon 2100 (Ouzeau *et al.*, 2014).

6.3.3 La nécessité de restaurer les mares

Abandonnée à elle-même, une mare est naturellement condamnée à se combler (Oertli et Frossard, 2013). Avant l'arrivée de l'eau courante, la création et l'entretien d'une multitude de mares furent méthodiquement assurés pour répondre au besoin d'eau dans le cadre d'une usage quotidien et agricole. Mais aujourd'hui, de nouveaux travaux d'entretien en donnant à la mare de nouveaux attributs : plan d'eau paysager, ouvrage de lutte contre l'inondation ou écosystème remarquable sont légitimes. Les mares publiques sont notamment l'objet de mise en valeur par des communes rurales soucieuses de conserver ces témoignages originaux et fonctionnels de l'économie agricole passée.

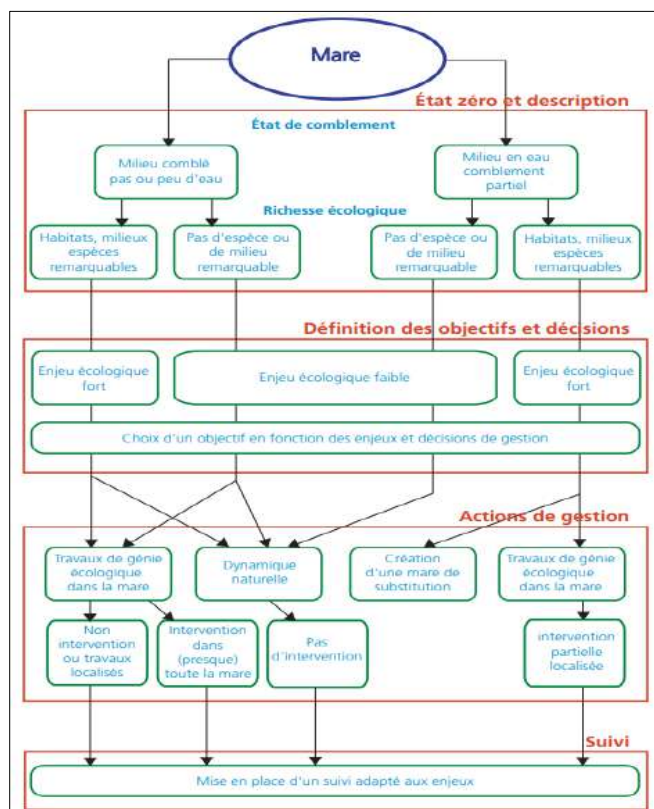


Figure 197 : Principale gestion des mares p.144

(Source : Guide technique de gestion des mares forestières de plaine Office National des Forêt – ONF)

Parmi nos mares échantillonnées, une mare publique localisée dans la commune de Schoelcher a fait l'objet d'un projet de restauration, il a été expliqué dans la partie des résultats.

Nous notons au passage, qu'aucune de nos mares, sont implantées dans des zones naturelles protégées (ZNIEFF) ou à haute valeur patrimoniale.

Dans la continuité de cette action, nous proposons :

- un observatoire permanent pour le suivi et l'étude des oiseaux migrateurs. Ainsi, l'observatoire de la biodiversité de la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Martinique (DREAL) pourrait prendre l'attache des propriétaires afin d'intégrer le réseau des mares dans son champ de compétence ;
- une étude de la dynamique de la végétation aquatique doit aussi être réalisée dans le but de suivre son évolution ;
- un inventaire de la faune semble nécessaire en complément à l'inventaire floristique ;
- Restaurer les mares aujourd'hui atterries.

Nous avons pu mettre en évidence au cours de cette étude l'importance de conserver les mares, pour sa biodiversité. Elles sont souvent délaissées par les propriétaires en raison de leur coût d'entretien. Le maintien de ces mares ne pourra se faire durablement sans une revalorisation et un accompagnement économique favorable pour l'agriculteur ou le propriétaire.

Les mares doivent être entretenus car elles évoluent spontanément dans le sens d'un comblement progressif inéluctable et d'une disparition à long terme (boisement). Il est essentiel de les entretenir régulièrement afin de limiter leur comblement naturel selon un plan de gestion (Figure 197). En l'absence d'entretien, la mare disparaît. De nos observations sur le terrain, certaines mares sont entretenues. En somme, les mares sont les témoins d'une activité passée et doivent donc s'inscrire dans le petit patrimoine local.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail de thèse sur les mares et sa végétation aquatique avait pour objectifs :

- d’inventorier le nombre de mares sur le territoire de la Martinique ;
- de mettre à jour l’inventaire de la flore aquatique afin d’identifier éventuellement d’autres espèces potentiellement invasives et de les cartographier ;
- de comparer les résultats obtenus avec les résultats antérieurs.

Il convient, au terme de celui-ci, de tirer des conclusions éclairées, et développer quelques idées clefs afférentes à l’étude de ce type de milieu humide.

Ces travaux nous ont, notamment, permis de montrer que la mare, un écosystème insulaire peu exploré. La difficulté à inventorier les mares, en tant qu’objets écosystémiques, existe bien et durant cette recherche doctorale, nous avons pu en discerner toute la nature complexe que recenser le nombre de mares sur un espace insulaire n’est pas une action facile :

Premièrement, elles ne sont pas fréquemment référencées sur les cartes IGN, même au 1/25000^e. Ainsi, une étude menée sur la commune de Thimert en Eure-et-Loire (Teissier-Ensminger et Sajaloli, 1997) a indiqué que la carte IGN 1/25000^e comportait 55,5% d’erreurs par rapport à la localisation des mares. Ces erreurs relèvent d’oublis ou d’absences de mise à jour.

Deuxièmement, les dimensions de ces biotopes aquatiques sont assez variables (60 à 3000 km²). Troisièmement, il existe beaucoup de localisation de ces petits écosystèmes, en particulier dans le Sud de la Martinique – environ 300 mares à Saint-Anne selon notre informateur M. Calixte, responsable du Service Patrimoine de la Mairie de Sainte-Anne – ; mais également divers usages : mares abreuvoir pour le bétail ; mare abandonnée ; mares de savane pouvant servir à l’irrigation ; mares d’ornement, etc. Enfin, l’accessibilité et la sécurité peuvent être des obstacles pour les inventaires de terrain.

Quant à la complexité de ces milieux lenticules, elle repose, au premier abord, sur le fait qu’ils sont simples à appréhender de par leur petite taille. Mais, nous nous rendons compte que ce sont des biotopes immensément fluctuants, dans la mesure où ils sont fortement soumis aux variations environnementales. De surcroît, ces mares sont des îles d’eau disséminées (Sajaloli, 1997) au sein d’une mer de terre. À vrai dire, l’intérêt de ces écosystèmes ne réside donc pas dans l’objet mare lui-même, mais bien dans l’ensemble complexe que constitue ces objets, d’où l’importance de procéder à l’inventaire de l’ensemble des mares avant toute étude.

Notre espace insulaire est relativement riche en milieux humides. Les prospections nous ont permis de recenser exhaustivement 42 mares. La plupart des mares, particulièrement celles de faible superficie, sont asséchées pendant le carême, notamment aux mois d'avril et juin, période la plus sèche de l'année. Cet assèchement se traduit par une modification de leur composition floristique. Il se peut que d'autres mares soient dissimulées à travers nos espaces boisés, d'où un inventaire qui ne peut être que partiel. De nombreuses mares risquent le comblement et la modification de la chimie des eaux, par pollution, en particulier les mares M13 (Photo 65). Les résultats sommaires indiquent que les mares échantillonnées sont mésotrophes, elles ont pour la plupart un pH basique. En raison de la taille réduite de ces milieux, la dynamique peut être affectée par de très faibles variations des facteurs déterminants de ces écosystèmes. Dès que les conditions de milieu sont modifiées (eutrophisation, changement des périodes de submersion ou d'assèchement, atterrissement naturel, etc..), certaines espèces peuvent de ce fait être rapidement remplacés par d'autres espèces plus compétitives (*Hydrilla verticillata* dans la mare M2).

Nous retenons qu'une simple mare est toujours riche d'enseignements. C'est la raison pour laquelle, la connaissance est principale pour un premier pas vers une meilleure gestion physique et sociale de la mare. De plus, les mares seraient fortement menacées par le réchauffement climatique. C'est pourquoi, il est important de conserver leur biodiversité, vu qu'elles sont des éléments essentiels dans la mosaïque d'écosystèmes d'eau douce qui compose notre paysage. Étant donné l'intérêt écologique et socio-économique, une mare (M6) a fait l'objet d'un projet de restauration par les autorités étatiques, et d'autres, notamment douze mares publiques, feront également l'objet ultérieurement d'un projet de restauration sous le nom de REMA (Restauration et entretien des mares des Antilles).

L'étude de la flore aquatique de l'île a permis de recenser 8 espèces, appartenant à plusieurs familles (Araceae, Cyperaceae, Hydrocharitaceae, Lemnaceae, Nymphaeaceae, Pontederiaceae, Salviniaceae, Scrophulariaceae). La liste floristique comporte uniquement des espèces aquatiques invasives (*Pistia stratiotes* L., *Cyperus papyrus*, *Hydrilla verticillata*, *Lemna polyrhiza*, *Micranthemum umbrosum*, *Nymphaea ampla*, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Salvinia molesta* D.S. Mitch). 107 espèces exotiques envahissantes sont interdites sur le territoire de la Martinique, selon l'Arrêté du 9 août 2019 paru dans le Journal Officiel de la République française n° 0223 du 25 septembre 2019, et existent bel et bien (Annexe 6). Parmi ces espèces, nous notons trois espèces aquatiques invasives : *Eichhornia crassipes* (Mart.)

Solms ; *Pistia stratiotes* L. et *Salvinia molesta* D.S. Mitch. Celles-ci sont considérées à l'échelle mondiale comme invasives et nuisibles. À l'échelle locale, elles sont présentées comme potentiellement invasives. De plus, la progression des espèces invasives, sous l'effet notamment du réchauffement climatique (Hellmann et al. 2008), peut également avoir des conséquences majeures sur la biodiversité aquatique.

En Martinique, les mares présentent une biodiversité assez remarquable. Cependant, elles ont été longtemps abandonnées, notamment par les scientifiques, parce qu'elles ne participaient pas beaucoup à l'économie hydrique comme les rivières, les lacs ou les fleuves. Ce n'est que depuis une dizaine d'année que la mare est devenue un objet d'étude scientifique. La faune n'étant pas notre objet d'étude, à chacune de nos visites, nous avons observé que la mare abrite une faune non insignifiante. Très peu d'études ornithologiques ont été menées sur les milieux humides en Martinique (Levesque, 2002). Il y a des espèces bien identifiées très connues localement : la poule d'eau, la libellule, le héron garde-bœufs, etc. En revanche, des migrations d'oiseaux sont connus, et régulièrement certaines espèces viennent dans les milieux humides de l'île fuyant les régions des climats des milieux tempérés. Ainsi, les oiseaux participent à la biodiversité en transportant par exemple des poissons, dans lesdits milieux. C'est ce qu'on appelle la dispersion naturelle. Afin de protéger la faune aquatique des mares, l'Union européenne a pris une directive pour la protection et la gestion des oiseaux : l'article 4 de la directive oiseaux de 1979 charge les États d'une obligation de délimitation de Zones de Protection Spéciales (ZPS) pour les habitats des oiseaux. Amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères trouvent dans les mares recensées un refuge (Annexe 7).

À la fin de notre étude, il se dégage de nos enquêtes et de nos réflexions théoriques, que les mares sont faiblement répandues sur notre espace insulaire. Elles sont toutes des créations de l'homme, pour répondre aux besoins de consommation de l'eau (irrigation, arrosage des jardins etc..). Toutefois, nous pouvons objectivement supputer que leur nombre a diminué avec l'arrivage de l'eau courante dans les robinets et la création d'un réseau d'eau d'irrigation. La mare n'occupe plus la place qu'elle occupa naguère dans la vie sociale des Martiniquais – les mythes et légendes nés à son contact se sont évaporés à l'irruption de la modernité. L'urbanisation galopante que connaît notre île est un des facteurs majeurs de cette dynamique régressive.

Nous pouvons qualifier cette recherche de travail inédit, quant à sa scientificité, eu égard aux premières études (sur les mares à la Martinique) ayant donné lieu à deux rapports pré-cités.

Dans l'une comme dans l'autre, nous relevons des lacunes d'ordres méthodologique et conceptuel. Ce qui rend peu fiable les informations qui y sont consignées. La recherche que nous avons menée permet une meilleure connaissance de ces écosystèmes lenticques, fragiles et complexes, du fait même de la configuration de l'espace où elle a été menée : le milieu insulaire.

Quelques perspectives d'études de l'objet mare

Au-delà des résultats évoqués ci-dessus, les travaux présentés dans ce manuscrit appellent quelques approfondissements et ouvrent la voie à d'autres questions :

– « *Faire étudier les paramètres biotiques influençant la chimie de l'eau par des hydrobiologistes et des physico-chimistes pour un véritable suivi du niveau trophique des mares.* » En effet, l'établissement d'un long programme de préservation de ces milieux nécessite la réalisation d'une étude physico-chimique. Comme évoqué dans nos résultats, les petits écosystèmes d'eau douce, peu profonds tels que les mares, voient leurs caractéristiques physico-chimiques (température, pH, conductivité) varier fortement au cours d'une journée. C'est pourquoi, il est nécessaire de réaliser une étude physico-chimique dans le cadre de la réalisation d'un programme de préservation.

– Suivre la dynamique interannuelle du remplissage de la mare

Il serait intéressant de suivre les niveaux d'eau et de superficie inondée en établissant une fiche technique pour chaque mare choisie. Elles peuvent pallier l'absence d'eau libre pour certains usages : l'abreuvement des animaux (ovins, caprins), l'agriculture et les besoins de l'homme, à condition que toutes les règles sanitaires soient réunies.

– Mettre en place des Projets de restauration et valorisation

L'entreprise de restauration et de valorisation de certaines mares est l'occasion de profiter de curer et d'entretenir des mares saturées organiquement et minéralement ; de sensibiliser les riverains de l'importance et de la fragilité de ces milieux et d'informer les touristes et les

résidents, par plusieurs modalités d'informations, de la localisation de ces milieux et des actions d'éducation.

Dans ce cadre, il serait opportun de faire de ces mares des lieux d'animation pédagogique, dans le but de conscientiser les jeunes publics aux questions écologiques et environnementales.

– Réaliser une étude de la faune

Malgré leur petite taille, ces mares recèlent une diversité faunistique très élevée. Elles constituent, par ailleurs, l'habitat nécessaire à la reproduction et à l'alimentation d'une faune menacée : Amphibiens (grenouilles, crapauds), Invertébrés (insectes, crustacés...), Oiseaux (poules d'eau, héron garde-bœufs,).

Enfin, dans un contexte insulaire menacé par des risques naturels et le réchauffement climatique, il est important de protéger et de restaurer ces mares exceptionnelles. En effet, elles font partie des milieux les plus affectés par les diverses menaces d'origine anthropique (la pollution, la captation des eaux pour l'irrigation, le piétinement, l'urbanisation, les constructions d'infrastructures, le comblement) et d'origine climatique (la sécheresse en particulier). En outre, elles montrent une biodiversité remarquable qui mérite une étude écologique plus approfondie qui permettra de tracer un projet de préservation de cet écosystème lentique.

Ainsi, il apparaît aujourd'hui nécessaire que les acteurs public et privées de l'aménagement du territoire mettent en place une politique de gestion conservatoire afin de limiter la disparition des mares. En ce sens, la contribution de la recherche scientifique peut se révéler des pistes voire des outils éclairants ou utiles pour les actions de préservation et de conservation de ce type de milieu humide.

BIBLIOGRAPHIE

1.
ABATI, Yelji. Écologie des principales espèces végétales potentiellement invasives des Petites Antilles : Le cas de la Martinique. 2021.
2.
ABBASI, S. A. et NIPANEY, P. C. Wastewater treatment using aquatic plants. Survivability and growth of *Salvinia molesta* (Mitchell) over waters treated with zinc (II) and the subsequent utilization of the harvested weeds for energy (biogas) production. *Resources and Conservation*. [en ligne]. 1985. Vol. 12, n° 1, pp. 47-55. DOI [https://doi.org/10.1016/0166-3097\(85\)90015-X](https://doi.org/10.1016/0166-3097(85)90015-X).
3.
ADAM, Elhadi et MUTANGA, Onesimo. Spectral discrimination of papyrus vegetation (*Cyperus papyrus* L.) in swamp wetlands using field spectrometry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2009. Vol. 64, n° 6, pp. 612-620.
4.
ADEBAYO, Abisola A, BRISKI, Elizabeta, BRISKI, E, KALACI, O, HERNANDEZ, M, GHABOOL, S, BERIC, B, CHAN, FT, ZHAN, A et FIFIELD, E. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*) in the Great Lakes : playing with fire ? *Aquatic Invasions*. 2011. Vol. 6, n° 1, pp. 91.
5.
ADEYEMI, Olutobi, GROVE, Ivan, PEETS, Sven, DOMUN, Yuvraj et NORTON, Tomas. Dynamic modelling of lettuce transpiration for water status monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*. [en ligne]. 2018. Vol. 155, pp. 50-57. DOI <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.008>.
6.
ADEYEMI, Oyeyemi et OSUBOR, Chris C. Assessment of nutritional quality of water hyacinth leaf protein concentrate. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 2016. Vol. 42, n° 3, pp. 269-272.
7.
AGAMI, M et REDDY, KR. Competition for space between *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes* L. cultured in nutrient-enriched water. *Aquatic Botany*. 1990. Vol. 38, n° 2-3, pp. 195-208.
8.
AHN, Changwoo. *Wetlands*, William J. Mitsch, James G. Gosselink, 2015. Wiley, New York, 736 pp., ISBN978-1-118-67682-0, US \$102.53 (hard cover). . 2015.
9.
ANGÉLIBERT, S, MARTY, P, CÉRÉGHINO, R et GIANI, N. Seasonal variations in the physical and chemical characteristics of ponds: implications for biodiversity conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2004. Vol. 14, n° 5, pp. 439-456.
10.
ANGÉLIBERT, Sandrine. Etude des mares du parc Naturel Régional des Causses du Quercy: fonctionnement, biodiversité et connectivité inter-mares. Propositions pour l'entretien et la sauvegarde. . 2004.

11.
ARAYANA, Gollamudi Lakshmin, RAO, K. Sundar, PANTULU, A. J. et THYAGARAJAN, G. Composition of lipids in roots, stalks, leaves and flowers of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1984. Vol. 20, n° 3, pp. 219-227. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(84\)90088-3](https://doi.org/10.1016/0304-3770(84)90088-3).
12.
ARNABOLDI, F et ALBAN, N. La gestion des mares forestières de plaine. *Ile-de-France: Office national des forêts*. 2006.
13.
ARTHUR, Georgina D., STIRK, Wendy A., NOVÁK, Ondřej, HEKERA, Petr et STADEN, Johannes van. Occurrence of nutrients and plant hormones (cytokinins and IAA) in the water fern *Salvinia molesta* during growth and composting. *Environmental and Experimental Botany*. [en ligne]. 2007. Vol. 61, n° 2, pp. 137-144. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.002>.
14.
ARTIGAS, Rafael Cámara. Concepts, approche bioclimatique et typologie des savanes. Application aux savanes américaines. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*. 2009. Vol. 62, n° 246, pp. 175-218.
15.
ÅSE, Lars-Erik. A note on ridges of pumice formed through the influence of floating *Salvinia* in Lake Naivasha, Kenya. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. 1987. Vol. 69, n° 2, pp. 283-288.
16.
ÅSE, Lars-Erik. A Note on the Water Budget of Lake Naivasha, Kenya: —especially the role of *Salvinia molesta* Mitch and *Cyperus papyrus* L. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. 1987. Vol. 69, n° 3-4, pp. 415-429.
17.
ATLAN, Y. Contribution à l'étude géotechnique des sols volcaniques tropicaux exemple de la martinique. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin De l'Association Internationale De Géologie De l'Ingénieur*. 1990. Vol. 41, n° 1, pp. 17-26.
18.
ATLAN, Y, BESSON, JC et HUMBERT, M. Évolution des reliefs en liaison avec la sécurité et l'aménagement du territoire de la Martinique. *Rapport BRGM*. 1983. Vol. 83.
19.
ATLAS, NOAA. *Precipitation-Frequency Atlas of the United States*. . 14.
20.
AUBERT, Georges et BOULAINÉ, Jean. *La pédologie*. [en ligne]. Paris cedex 14 : Presses Universitaires de France, 1980. Que sais-je ? ISBN 978-2-13-069446-5. Disponible à l'adresse: <https://www.cairn.info/la-pedologie--9782130694465.htm>
Cairn.info
Cet ouvrage est une réédition numérique d'un livre paru au XXe siècle, désormais indisponible dans son format d'origine.
21.
BAIZE, Denis. *Petit lexique de pédologie: Nouvelle édition augmentée*. . Quae, 2016. ISBN 2-7592-2446-5.

22.
BANISZEWSKI, Julie, WEEKS, Emma NI et CUDA, James P. *Bacillus thuringiensis* subspecies *kurstaki* reduces competition by *Parapoynx diminutalis* (Lepidoptera: Crambidae) in colonies of the hydrilla biological control agent *Cricotopus lebetis* (Diptera: Chironomidae). *Florida Entomologist*. 2016. Vol. 99, n° 4, pp. 644-647.
23.
BARBAULT, Robert. *Écologie générale-6e éd.: Structure et fonctionnement de la biosphère*. . Dunod, 2008. ISBN 2-10-053794-6.
24.
BARBE, J. Les végétaux aquatiques. Données biologiques et écologiques. Clés de détermination des macrophytes de France. *Bulletin français de pisciculture*. 1984. pp. 1-42.
25.
BARBIER, Edward B. Valuing environmental functions: tropical wetlands. *Land economics*. 1994. pp. 155-173.
26.
BARD, Jacques. Végétaux aquatiques tropicaux. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*. 1965. Vol. 99, n° 99, pp. 3-11.
27.
BARNAUD, G et MENNET, L. *ZONES HUMIDES*. . 1994.
28.
BARNAUD, Geneviève et FUSTEC, E. *Conserver les zones humides: Pourquoi*. . 2007.
29.
BARRAU, Jacques. Jacques Fournet.—Flore illustrée des Phanérogames de Guadeloupe et de Martinique. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*. 1978. Vol. 25, n° 2, pp. 129-131.
30.
BARRETT, S. C. H. et FORNO, I. W. Style morph distribution in new world populations of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach (water hyacinth). *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1982. Vol. 13, pp. 299-306. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(82\)90065-1](https://doi.org/10.1016/0304-3770(82)90065-1).
31.
BARRETT, Spencer C. H., ECKERT, Christopher G. et HUSBAND, Brian C. Evolutionary processes in aquatic plant populations. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1993. Vol. 44, n° 2, pp. 105-145. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(93\)90068-8](https://doi.org/10.1016/0304-3770(93)90068-8).
32.
BARRY, Sheila J. Managing the Sacramento Valley vernal pool landscape to sustain the native flora. *Ecology, conservation and management of vernal pool ecosystems*. *California Native Plant Society, Sacramento*. 1998. pp. 236-240.
33.
BARTOUT, Laurent, Pascal ; Touchart. Le territoire limnique, une alternative à la gouvernance des plans d'eau par masses d'eau ? *VertigO*. 2017. Vol. 17, n° 3.
34.
BARTOUT, Pascal. L'incompréhension de la place prise par les plans d'eau dans l'Union Européenne et ses conséquences règlementaires. *Norois. Environnement, aménagement, société*. 2015. N° 235, pp. 17-36.

35.
BARTOUT, Pascal et TOUCHART, Laurent. L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. *Annales de géographie*. [en ligne]. 2013. Vol. 691, n° 3, pp. 266-289. DOI [10.3917/ag.691.0266](https://doi.org/10.3917/ag.691.0266).
Cairn.info
36.
BARTOUT, Pascal et TOUCHART, Laurent. L'inventaire des plans d'eau français: outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. In : *Annales de géographie*. Armand Colin, 2013. pp. 266-289. ISBN 0003-4010.
37.
BARTOUT, Pascal et TOUCHART, Laurent. La notion de limnité est-elle suffisante pour caractériser l'empreinte spatiale et sociétale des plans d'eau? *Revue Géographique de l'Est*. 2016. Vol. 56, n° 1-2.
38.
BASIOUNY, FM, HALLER, WT et GARRARD, LA. Survival of hydrilla (*Hydrilla verticillata*) plants and propagules after removal from the aquatic habitat. *Weed Science*. 1978. pp. 502-504.
39.
BATANOUNY, K. H. et EL-FIKY, A. M. The water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Solms) in the Nile system, Egypt. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1975. Vol. 1, pp. 243-252. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(75\)90025-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(75)90025-X).
40.
BATES, Robert P et HENTGES, James F. Aquatic weeds—eradicate or cultivate? *Economic Botany*. 1976. Vol. 30, n° 1, pp. 39-50.
41.
BATT, Bruce DJ, ANDERSON, Michael G, ANDERSON, C Diane et CASWELL, F Dale. The use of prairie potholes by North American ducks. *Northern prairie wetlands*. 1989. Vol. 204, pp. 227.
42.
BAZILEVICH, NI, RODIN, L Ye et ROZOV, NN. Geographical aspects of biological productivity. *Soviet Geography*. 1971. Vol. 12, n° 5, pp. 293-317.
43.
BEENTJE, Henk Jaap. *The Kew plant glossary: an illustrated dictionary of plant terms*. . Royal Botanic Gardens, 2010. ISBN 1-84246-422-1.
44.
BÉGIN, Paschale Noël. Abondance et diversité des rotifères dans les mares de thermokarst subarctiques. . 2015.
45.
BÉGOT, Danielle, BOUSQUET-BRESSOLIER, Catherine et PELLETIER, Monique. *La Martinique de Moreau du Temple, 1770: la carte des ingénieurs géographes*. . Éd. du Comité des travaux historiques et scientifiques, 1998. ISBN 2-7355-0381-X.
46.
BERNADET, Caroline. Biodiversité des communautés de macroinvertébrés benthiques de la Martinique: conception d'un indice de qualité biologique des rivières et écologie fonctionnelle des bioindicateurs. . 2013.

47.
BERTRAND, Jean, ECTOR, Luc et RENON, Jean-Pierre. Diatomées des mares: Études préliminaires de l'écologie des mares permanentes et éphémères de la région Centre (France). *Journal de botanique de la société botanique de France*. 2014. Vol. 66, pp. 55-74.
48.
BIGGS, Jeremy, CORFIELD, Antony, WALKER, Dave, WHITFIELD, Mercia et WILLIAMS, Penny. New approaches to the management of ponds. *British Wildlife*. 1994. Vol. 5, n° 5, pp. 273-287.
49.
BIGGS, Jeremy, WILLIAMS, Penny, WHITFIELD, Mericia, NICOLET, Pascale et WEATHERBY, Anita. 15 years of pond assessment in Britain: results and lessons learned from the work of Pond Conservation. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*. 2005. Vol. 15, n° 6, pp. 693-714.
50.
BIONDI, Edoardo et CALANDRA, Rolando. La cartographie phytoécologique du paysage. *Écologie*. 1998. Vol. 29, n° 1/2, pp. 145.
51.
BOCK, Jane H. Productivity of the Water Hyacinth *Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms. *Ecology*. [en ligne]. 1969. Vol. 50, n° 3, pp. 460-464. [Consulté le 1 janvier 2021]. DOI [10.2307/1933898](https://doi.org/10.2307/1933898).
JSTOR
52.
BODO, Ruben, HAUSLER, Robert et AZZOUZ, Abdelkrim. Approche multicritère pour la sélection de plantes aquatiques en vue d'une exploitation rationnelle. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*. 2006. Vol. 19, n° 3, pp. 181-197.
53.
BOG, Manuela, APPENROTH, Klaus-J et SREE, K Sowjanya. Duckweed (Lemnaceae): its molecular taxonomy. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2019. Vol. 3, pp. 117.
54.
BOISSINOT, Alexandre. Influence de la structure du biotope de reproduction et de l'agencement du paysage, sur le peuplement d'amphibiens d'une région bocagère de l'ouest de la France. *Diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Laboratoire de Biogéographie et d'Ecologie des Vertébrés (EPHE/CEFE)*. 2009. Vol. 1, pp. 192.
55.
BONILLA-BARBOSA, Jaime, NOVELO, Alejandro, OROZCO, Yolanda Hornelas et MÁRQUEZ-GUZMÁN, Judith. Comparative seed morphology of Mexican *Nymphaea* species. *Aquatic Botany*. 2000. Vol. 68, n° 3, pp. 189-204.
56.
BOOTHBY, John. Pond conservation: towards a delineation of pondscape. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 1997. Vol. 7, n° 2, pp. 127-132.
57.
BORNETTE, Gudrun, AMOROS, Claude et LAMOUREUX, Nicolas. Aquatic plant diversity in riverine wetlands: the role of connectivity. *Freshwater biology*. 1998. Vol. 39, n° 2, pp. 267-283.

58.
BORNETTE, Gudrun et PUIJALON, Sara. Macrophytes: ecology of aquatic plants. *eLS*. 2009.
59.
BOUTIN, Céline et KEDDY, Paul A. A functional classification of wetland plants. *Journal of vegetation science*. 1993. Vol. 4, n° 5, pp. 591-600.
60.
BOYD, Claude E et SCARSBROOK, Ellen. Influence of nutrient additions and initial density of plants on production of waterhyacinth *Eichhornia crassipes*. *Aquatic Botany*. 1975. Vol. 1, pp. 253-261.
61.
BRAQUE, René. Observation sur les mardelles du plateau nivernais. *Quaternaire*. 1966. Vol. 3, n° 3, pp. 167-179.
62.
BRASSEUR, Gérard. Atlas des départements français d'outre-mer. 2. La Martinique, réalisé par le Centre d'études de géographie tropicale de Bordeaux. Préf. de G. Lasserre. *Outre-Mers. Revue d'histoire*. 1977. Vol. 64, n° 235, pp. 277-277.
63.
BRETON, Julie. Caractérisation limnologique et réactivité de la matière organique dissoute des mares de thermokarst. . 2007.
64.
BRETON, Julie, VALLIERES, Catherine et LAURION, Isabelle. Limnological properties of permafrost thaw ponds in northeastern Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2009. Vol. 66, n° 10, pp. 1635-1648.
65.
BRÖNMARK, Christer et HANSSON, Lars-Anders. Environmental issues in lakes and ponds: current state and perspectives. *Environmental conservation*. 2002. pp. 290-307.
66.
BRÖNMARK, Christer et HANSSON, Lars-Anders. *The biology of lakes and ponds*. . Oxford university press, 2017. ISBN 0-19-102254-3.
67.
BROOKS, Robert T. Weather-related effects on woodland vernal pool hydrology and hydroperiod. *Wetlands*. 2004. Vol. 24, n° 1, pp. 104-114.
68.
BRUNDU, G. Plant invaders in European and Mediterranean inland waters: profiles, distribution, and threats. *Hydrobiologia*. 2015. Vol. 746, n° 1, pp. 61-79.
69.
BURKETT, Virginia et KUSLER, Jon. Climate change: potential impacts and interactions IN wetlands OF the untted states 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 2000. Vol. 36, n° 2, pp. 313-320.
70.
BUTT, Maryam Akram, ZAFAR, Muhammad, AHMED, Mushtaq, SHAHEEN, Shabnum et SULTANA, Shazia. Climate of Wetlands. In : BUTT, Maryam Akram, ZAFAR, Muhammad, AHMED, Mushtaq, SHAHEEN, Shabnum et SULTANA, Shazia (éd.), *Wetland Plants: A Source of Nutrition and Ethno-medicines*. [en ligne]. Cham : Springer International Publishing, 2021. pp. 17-34. ISBN 978-3-030-69258-2.

71.
BUTT, Maryam Akram, ZAFAR, Muhammad, AHMED, Mushtaq, SHAHEEN, Shabnum et SULTANA, Shazia. Types of Wetland and Wetland Plants. In : BUTT, Maryam Akram, ZAFAR, Muhammad, AHMED, Mushtaq, SHAHEEN, Shabnum et SULTANA, Shazia (éd.), *Wetland Plants: A Source of Nutrition and Ethno-medicines*. [en ligne]. Cham : Springer International Publishing, 2021. pp. 35-54. ISBN 978-3-030-69258-2.
72.
CAREY, Cynthia et ALEXANDER, Michael A. Climate change and amphibian declines: is there a link? *Diversity and distributions*. 2003. Vol. 9, n° 2, pp. 111-121.
73.
CARY, Peter R. et WEERTS, Peter G. J. Growth of *Salvinia molesta* as affected by water temperature and nutrition I. Effects of nitrogen level and nitrogen compounds. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1983. Vol. 16, n° 2, pp. 163-172. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(83\)90091-8](https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90091-8).
74.
CARY, Peter R. et WEERTS, Peter G. J. Growth of *Salvinia molesta* as affected by water temperature and nutrition II. Effects of phosphorus level. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1983. Vol. 17, n° 1, pp. 61-70. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(83\)90018-9](https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90018-9).
75.
CASTIAUX, Annick et MORELLE, Kevin. Chapitre 12. Les mares, petits terrains d'histoire et d'histoires.... In : *Agroécologie*. [en ligne]. Dijon cedex : Éducagri éditions, 2012. pp. 233-247. Références. ISBN 978-2-84444-876-7.
76.
CASTIAUX, Annick et MORELLE, Kevin. Les mares, petits terrains d'Histoire et d'histoires. *D. Van Dam, M. Streith, J. Nizet, & P.-M. Stassart, Agroécologie. Entre pratiques et sciences sociales*. 2012. pp. 233-248.
77.
CENTER, Ted D. et SPENCER, Neal R. The phenology and growth of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) in a eutrophic north-central Florida lake. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1981. Vol. 10, pp. 1-32. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(81\)90002-4](https://doi.org/10.1016/0304-3770(81)90002-4).
78.
CÉRÉGHINO, Régis, BOIX, Dani, CAUCHIE, Henry-Michel, MARTENS, Koen et OERTLI, Beat. The ecological role of ponds in a changing world. *Hydrobiologia*. 2014. Vol. 723, n° 1, pp. 1-6.
79.
CHADWICK, MJ et OBEID, Mohammed. A comparative study of the growth of *Eichhornia crassipes* Solms. and *Pistia stratiotes* L. in water-culture. *The Journal of Ecology*. 1966. pp. 563-575.
80.
CHALE, Francis MM. Plant biomass and nutrient levels of a tropical macrophyte (*Cyperus papyrus* L.) receiving domestic wastewater. *Hydrobiological Bulletin*. 1987. Vol. 21, n° 2, pp. 167-170.
81.
CHAPPUIS, Eglantine, GACIA, Esperança et BALLESTEROS, Enric. Changes in aquatic macrophyte flora over the last century in Catalan water bodies (NE Spain). *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2011. Vol. 95, n° 4, pp. 268-277. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2011.08.006>.

82.

CHAPUIS, Jean-Louis, BARNAUD, Geneviève, BIORET, Frédéric, LÉBOUVIER, Marc et PASCAL, Michel. L'éradication des espèces introduites, un préalable à la restauration des milieux insulaires. Cas des îles françaises. *Natures Sciences Sociétés*. 1995. Vol. 3, pp. s51-s65.

83.

CHOUDHARY, M. Iqbal, NAHEED, Nadra, ABBASKHAN, Ahmed, MUSHARRAF, Syed Ghulam, SIDDIQUI, Hina, et ATTA-UR-RAHMAN. Phenolic and other constituents of fresh water fern *Salvinia molesta*. *Phytochemistry*. [en ligne]. 2008. Vol. 69, n° 4, pp. 1018-1023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.10.028>.

84.

CILLIERS, C. J. Biological control of water fern, *Salvinia molesta* (Salviniaceae), in South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. [en ligne]. 1991. Vol. 37, n° 1, pp. 219-224. DOI [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(91\)90150-V](https://doi.org/10.1016/0167-8809(91)90150-V).

85.

CLARKSON, Beverley R, AUSSEIL, Anne-Gaelle E et GERBEAUX, Philippe. Wetland ecosystem services. *Ecosystem services in New Zealand: conditions and trends*. Manaaki Whenua Press, Lincoln. 2013. pp. 192-202.

86.

COLLINGE, Sharon K, RAY, Chris et GERHARDT, Fritz. Long-term dynamics of biotic and abiotic resistance to exotic species invasion in restored vernal pool plant communities. *Ecological Applications*. 2011. Vol. 21, n° 6, pp. 2105-2118.

87.

COLLOBER, Photo Olivier. Les petits points d'eau lentique des Deux-Sèvres. .

88.

COOK, Christopher D. K. et LÜÖND, Ruth. A revision of the genus *Hydrilla* (Hydrocharitaceae). *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1982. Vol. 13, pp. 485-504. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(82\)90074-2](https://doi.org/10.1016/0304-3770(82)90074-2).

89.

COOLEY, Thomas N., DOORIS, Patricia M. et MARTIN, Dean F. Aeration as a tool to improve water quality and reduce the growth of hydrilla. *Water Research*. [en ligne]. 1980. Vol. 14, n° 5, pp. 485-489. DOI [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90214-6](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90214-6).

90.

COPELAND, Robert S, NKUBAYE, Evariste, NZIGIDAHERA, Benoit, CUDA, James P et OVERHOLT, William A. The African burrowing mayfly, *Povilla adusta* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae), damages hydrilla *verticillata* (alismatales: Hydrocharitaceae) in Lake Tanganyika. *Florida Entomologist*. 2011. pp. 669-676.

91.

CORNELISSEN, Tatiana. Climate change and its effects on terrestrial insects and herbivory patterns. *Neotropical entomology*. 2011. Vol. 40, n° 2, pp. 155-163.

92.

COUDERC, Jean-Mary. Observations sur les mardelles de Touraine. *Norois*. 1979. Vol. 101, n° 1, pp. 29-47.

93.

COWARDIN, Lewis M et GOLET, Francis C. US Fish and Wildlife Service 1979 wetland classification: A review. *Classification and inventory of the world's wetlands*. 1995. pp. 139-152.

94.
CRAFT, Christopher B. *Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification*. . CRC Press, 2016. ISBN 0-429-18431-X.
95.
CREVECOEUR, Sophie. Diversité microbienne associée au cycle du méthane dans les mares de fonte du pergélisol subarctique. . 2016.
96.
CRONK, Julie K et FENNESSY, M Siobhan. *Wetland plants: biology and ecology*. . CRC press, 2016. ISBN 1-4200-3292-5.
97.
DAJOZ, Roger. *Précis d'écologie: 2e et 3e cycles universitaires*. . Dunod, 1996. ISBN 2-10-003153-8.
98.
DAR, Naseer Ahmad, PANDIT, Ashok Kumar et GANAI, Bashir Ahmad. Factors affecting the distribution patterns of aquatic macrophytes. *Limnological Review*. 2014. Vol. 14, n° 2, pp. 75-81.
99.
DAVIDSON, NC, FLUET-CHOUINARD, Etienne et FINLAYSON, CM. Global extent and distribution of wetlands: trends and issues. *Marine and Freshwater Research*. 2018. Vol. 69, n° 4, pp. 620-627.
100.
DAVIDSON, Nick C. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*. 2014. Vol. 65, n° 10, pp. 934-941.
101.
DAWSON, FH. Water flow and the vegetation of running waters. In : *Vegetation of inland waters*. Springer, 1988. pp. 283-309.
102.
DE LA MARTINIQUE, Parc Naturel Régional. Atlas des paysages de la Martinique. *PNRM Martinique, Fort-de-France*. 2013.
103.
DE MARSILY, Ghislain. *Les eaux continentales*. . EDP sciences, 2012. ISBN 2-7598-0151-9.
104.
DE MEESTER, Luc, DECLERCK, Steven, STOKS, Robby, LOUETTE, Gerald, VAN DE MEUTTER, Frank, DE BIE, Tom, MICHELS, Erik et BRENDONCK, Luc. Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems*. 2005. Vol. 15, n° 6, pp. 715-725.
105.
DE MONTGOLFIER, J. Les forêts méditerranéennes et leur aménagement. *Rev. Forêt*. 1985.
106.
DEBUSK, T. A., RYTHYER, J. H., HANISAK, M. D. et WILLIAMS, L. D. Effects of seasonality and plant density on the productivity of some freshwater macrophytes. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1981. Vol. 10, pp. 133-142. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(81\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0304-3770(81)90016-4).

107.

DEBUSK, T. A., RYTHÉ, J. H. et WILLIAMS, L. D. Evapotranspiration of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Lemna minor* L. in central Florida: Relation to canopy structure and season. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1983. Vol. 16, n° 1, pp. 31-39. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(83\)90049-9](https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90049-9).

108.

DEGORCE, Jean-Noël. *Les milieux humides dans la Loire*. . Université de Saint-Etienne, 1995. ISBN 2-86272-072-0.

109.

DELANCEY, Evan R, SIMMS, John F, MAHDIANPARI, Masoud, BRISCO, Brian, MAHONEY, Craig et KARIYEVA, Jahan. Comparing deep learning and shallow learning for large-scale wetland classification in Alberta, Canada. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, n° 1, pp. 2.

110.

DEMANGEOT, Jean. *Les milieux " naturels " du globe*. . Armand Colin, 2009. ISBN 2-200-24367-7.

111.

DENIS, Jean-François. *Invasion dynamics of exotic and native common reed in fresh water wetlands*. [en ligne]. PhD Thesis. McGill University, 2011. Disponible à l'adresse: http://digitool.library.mcgill.ca/R/-?func=dbin-jump-full&current_base=GEN01&object_id=103760

112.

DÉSERT, Lac et MINERVE, La. *Inventaire des plantes aquatiques*. . 2015.

113.

DEWALD, L. B. et LOUNIBOS, L. P. Seasonal growth of *Pistia stratiotes* L. in South Florida. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1990. Vol. 36, n° 3, pp. 263-275. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(90\)90040-R](https://doi.org/10.1016/0304-3770(90)90040-R).

114.

DHIR, Bhupinder. *Phytoremediation: role of aquatic plants in environmental clean-up*. . Springer, 2013.

115.

DIOP, Amadou Tamsir, DIAW, Omar Talla, DIEME, Ibrahima, TOURÉ, Ibra, SY, Oumar et DIÉMÉ, G. Mares de la zone sylvopastorale du Sénégal: tendances évolutives et rôle dans les stratégies de production des populations pastorales. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. 2004. Vol. 57, n° 1-2, pp. 77-85.

116.

DOWNING, John A, PRAIRIE, YT, COLE, JJ, DUARTE, CM, TRANVIK, LJ, STRIEGL, Robert G, MCDOWELL, WH, KORTELAJINEN, Pirkko, CARACO, NF et MELACK, JM. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnology and Oceanography*. 2006. Vol. 51, n° 5, pp. 2388-2397.

117.

DRAY, F. Allen et CENTER, Ted D. Seed production by *Pistia stratiotes* L. (water lettuce) in the United States. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1989. Vol. 33, n° 1, pp. 155-160. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(89\)90029-6](https://doi.org/10.1016/0304-3770(89)90029-6).

118.

DUNN, Lawrence H. Notes on the water lettuce, *Pistia stratiotes* Linn., as a nursery of insect life. *Ecology*. 1934. Vol. 15, n° 3, pp. 329-331.

119.
DUPONT, Christiane. Diversité microbienne des mares générées par la fonte du pergélisol en régions arctique et subarctique. . 2009.
120.
DUSSART, Bernard. *Limnologie: l'étude des eaux continentales...* . Gauthier-Villars, 1966.
121.
DUTARTRE, Agnes, HAURY, J et PELTRE, MC. Plantes aquatiques d'eau douce: biologie, écologie et gestion. *Ingénieries*. 2008. N° spécial Plantes aquatiques d'eau douce: biologie, écologie et gestion, pp. 160.
122.
DUTARTRE, Alain, MAZAUBERT, Émilie et POULET, Nicolas. Bilan des espèces exotiques envahissantes en milieux aquatiques sur le territoire français: essai de bilan en métropole. *Sciences Eaux Territoires*. 2012. N° 1, pp. 56-63.
123.
ELLISON, Aaron M. Wetlands of the World: Inventory, Ecology and Management. vol. 1. Africa, Australia, Canada and Greenland, Mediterranean, Mexico, Papua New Guinea, South Asia, Tropical South America, United States. *BioScience*. 1994. Vol. 44, n° 7, pp. 498-500.
124.
EMBODEN, William A. Nymphaea ampla and other Narcotics in Maya Ritual and Shamanism. *Mexicon*. [en ligne]. 1979. Vol. 1, n° 4, pp. 50-52. [Consulté le 10 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.jstor.org/bu-services.univ-antilles.fr:5000/stable/23757393>
JSTOR
125.
EPCN, The. Developing the pond manifesto. In : *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*. EDP Sciences, 2007. pp. 221-232. ISBN 0003-4088.
126.
ERNANDES, Paola et MARCHIORI, Silvano. Mediterranean temporary ponds in Puglia (South Italy): a "joyau floristique" to protect. *Acta botanica gallica*. 2013. Vol. 160, n° 1, pp. 53-64.
127.
ERWIN, Kevin L. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and management*. 2009. Vol. 17, n° 1, pp. 71-84.
128.
FARES, Ana Luísa B., CALVÃO, Lenize Batista, TORRES, Naiara Raiol, GURGEL, Ely Simone C. et MICHELAN, Thaísa Sala. Environmental factors affect macrophyte diversity on Amazonian aquatic ecosystems inserted in an anthropogenic landscape. *Ecological Indicators*. [en ligne]. 2020. Vol. 113, pp. 106231. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106231>.
FAUGÈRES, Lucien. Observations sur le modelé des versants dans la région des Pitons du Carbet (Martinique). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*. 1966. Vol. 43, n° 342, pp. 52-63.
130.
FAULKNER, Stephen. Urbanization impacts on the structure and function of forested wetlands. *Urban ecosystems*. 2004. Vol. 7, n° 2, pp. 89-106.
131.
FENELON, Paul. Chronique de la Commission des Phénomènes Karstiques du Comité National de Géographie. *Norois*. 1972. Vol. 74, n° 1, pp. 401-413.

132.

FENNESSY, M Siobhan, CRONK, Julie K et MITSCH, William J. Macrophyte productivity and community development in created freshwater wetlands under experimental hydrological conditions. *Ecological Engineering*. 1994. Vol. 3, n° 4, pp. 469-484.

133.

FINLAYSON, C Max, EVERARD, Mark, IRVINE, Kenneth, MCINNES, Robert J, MIDDLETON, Beth A, VAN DAM, Anne A et DAVIDSON, Nick C. *The Wetland Book: Structure and Function, Management and Methods. I.* . Springer, 2018. ISBN 90-481-9659-0.

134.

FINLAYSON, C Max, MILTON, G Randy, PRENTICE, R Crawford et DAVIDSON, Nick C. *The wetland book: II: distribution, description, and conservation.* . Springer, 2018. ISBN 94-007-4001-8.

135.

FINLAYSON, C Max et VAN DER VALK, Arnold. *Classification and Inventory of the World's Wetlands.* . Springer Science & Business Media, 2012. ISBN 94-011-0427-1.

136.

FINLAYSON, C. Max. Growth rates of *Salvinia molesta* in Lake Moondarra, Mount Isa, Australia. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1984. Vol. 18, n° 3, pp. 257-262. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(84\)90067-6](https://doi.org/10.1016/0304-3770(84)90067-6).

137.

FINLAYSON, CM, DAVIS, Jennifer Ann, GELL, Peter A, KINGSFORD, RT et PARTON, KA. The status of wetlands and the predicted effects of global climate change: the situation in Australia. *Aquatic Sciences*. 2013. Vol. 75, n° 1, pp. 73-93.

138.

FINLAYSON, CM et VAN DER VALK, AG. Wetland classification and inventory: a summary. *Vegetatio*. 1995. Vol. 118, n° 1, pp. 185-192.

139.

FLECKINGER, R. Les degrés trophiques du milieu aquatique des eaux douces continentales de surface. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*. 1981.

140.

FLEURANT, Cyril, TUCKER, GE et VILES, Heather A. Modèle d'évolution de paysages, application aux karsts en cockpit de Jamaïque. *Karstologia*. 2007. Vol. 49, pp. 33-42.

141.

FORD, Derek et WILLIAMS, Paul D. *Karst hydrogeology and geomorphology.* . John Wiley & Sons, 2013. ISBN 1-118-68499-0.

142.

FORNO, I. W. et HARLEY, K. L. S. The occurrence of *Salvinia molesta* in Brazil. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1979. Vol. 6, pp. 185-187. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(79\)90061-5](https://doi.org/10.1016/0304-3770(79)90061-5).

The floating fern *Salvinia molesta* D.S. Mitchell is recorded for the first time from South America. Its distribution there appears to be limited to southern Brazil.

143.

FORNO, IW et SEMPLE, JL. Response of *Salvinia molesta* to insect damage : changes in nitrogen, phosphorus and potassium content. *Oecologia*. 1987. Vol. 73, n° 1, pp. 71-74.

144.

FRANCHOMME, Magalie et SAJALOLI, Bertrand. Regards croisés sur les zones humides nord-américaines et européennes. *Cahiers de géographie du Québec*. [en ligne]. 2015. Vol. 59, n° 167, pp. 253. [Consulté le 30 décembre 2020]. DOI [10.7202/1036356ar](https://doi.org/10.7202/1036356ar).

145.

FRASER, Lauchlan H et KEDDY, Paul A. *The world's largest wetlands: ecology and conservation*. . Cambridge University Press, 2005. ISBN 0-521-83404-X.

146.

FROMENT, Pierre. La Phytogéographie et la Phytosociologie en France du début du XIX^e siècle à nos jours. *Bulletin de la Société Botanique de France*. 1953. Vol. 100, n° 7-9, pp. 362-387.

147.

GABROVŠEK, Franci et STEPIŠNIK, Uroš. On the formation of collapse dolines: A modelling perspective. *Geomorphology*. 2011. Vol. 134, n° 1-2, pp. 23-31.

148.

GALAL, Tarek M et FARAHAT, Emad A. The invasive macrophyte *Pistia stratiotes* L. as a bioindicator for water pollution in Lake Mariut, Egypt. *Environmental monitoring and assessment*. 2015. Vol. 187, n° 11, pp. 1-10.

149.

GALAM, Dominique, SILVA, James, SANDERS, Darrel et OARD, James H. Morphological and genetic survey of Giant *Salvinia* populations in Louisiana and Texas. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2015. Vol. 127, pp. 20-25. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2015.07.005>.

150.

GALÁN DE MERA, A, HAGEN, MA et VICENTE ORELLANA, JA. Aerophyte, a new life form in Raunkiaer's classification? *Journal of Vegetation Science*. 1999. Vol. 10, n° 1, pp. 65-68.

151.

GAMRAT, R. Threat of small midfield ponds on Weltn Plain. *International agrophysics*. 2006. Vol. 20, n° 2.

152.

GARCÍA-ÁVILA, Fernando, PATIÑO-CHÁVEZ, Jhanina, ZHINÍN-CHIMBO, Fanny, DONOSO-MOSCOSO, Silvana, DEL PINO, Lisveth Flores et AVILÉS-AÑAZCO, Alex. Performance of *Phragmites Australis* and *Cyperus Papyrus* in the treatment of municipal wastewater by vertical flow subsurface constructed wetlands. *International Soil and Water Conservation Research*. 2019. Vol. 7, n° 3, pp. 286-296.

153.

GARDNER, Royal C et DAVIDSON, Nick C. The Ramsar convention. In : *Wetlands*. Springer, 2011. pp. 189-203.

154.

GAURAV, Gajendra Kumar, MEHMOOD, Tariq, CHENG, Liu, KLEMEŠ, Jiří Jaromír et SHRIVASTAVA, Devesh Kumar. Water hyacinth as a biomass: A review. *Journal of Cleaner Production*. [en ligne]. 2020. Vol. 277, pp. 122214. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122214>.

155.

GAUSSEN, Henri et BAGNOULS, F. L'indice xérothermique. *Bulletin de l'Association de géographes français*. 1952. Vol. 29, n° 222, pp. 10-16.

156.
GAYOT, M et LAVAL, S. Inventaire des zones humides de la Martinique. *Rapport de synthèse*. 2006.
157.
GILLET, François. La phytosociologie synusiale intégrée: Guide méthodologique. *Laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie de l'Université de Neuchâtel, Inst. Bot.* 2000.
158.
GIRAUD, R., F. ; Chevallier, C. ; Medion, H. ; Fleury. Bilan hydrologique d'un marais littoral à vocation agricole : Le marais de Moëze (Charente-Maritime, France). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*. 1991. Vol. 4, n° 4, pp. 521-542. DOI <https://doi.org/10.7202/705114ar>.
159.
GOBAT, Jean-Michel, ARAGNO, Michel et MATTHEY, Willy. *Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols*. . PPUR Presses polytechniques, 2010. ISBN 2-88074-718-X.
160.
GOPAL, B. Vegetation dynamics in temporary and shallow freshwater habitats. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1986. Vol. 23, n° 4, pp. 391-396. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(86\)90088-4](https://doi.org/10.1016/0304-3770(86)90088-4).
161.
GOSWAMI, T. et SAIKIA, C. N. Water hyacinth — A potential source of raw material for greaseproof paper. *Bioresource Technology*. [en ligne]. 1994. Vol. 50, n° 3, pp. 235-238. DOI [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90095-7](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90095-7).
162.
GRAITSON, Eric, MORELLE, Kevin et FEREMANS, Nathalie. La vie des mares de nos campagnes. . 2009.
163.
GRAMOND, Delphine, SAVY, Benoît, GRAFFOUILLE, Matthieu et BARTOUT, Pascal. Méthodologies de délimitation des zones humides: de l'image satellitale à l'analyse terrain (Methodology of wetlands delimitation: from sensed data to field works). *Bulletin de l'Association de géographes français*. 2005. Vol. 82, n° 2, pp. 246-255.
164.
GRASMUCK, Nathalie. La végétation aquatique des cours d'eau de Lorraine: typologie floristique et écologique: contribution à l'étude de l'autoécologie des espèces de la flore aquatique lorraine. . 1994.
165.
GUFU, Guyo D., MANEA, Anthony et LEISHMAN, Michelle R. Growth, reproduction and functional trait responses of three freshwater plant species to elevated carbon dioxide. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2019. Vol. 154, pp. 18-23. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.12.006>.
166.
GUILLARMOD, A. Jacot. Water weeds in Southern Africa. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1979. Vol. 6, pp. 377-391. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(79\)90076-7](https://doi.org/10.1016/0304-3770(79)90076-7).
167.
GUNNARSSON, Carina C. et PETERSEN, Cecilia Mattsson. Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review. *Waste Management*. [en ligne]. 2007. Vol. 27, n° 1, pp. 117-129. DOI <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.12.011>.

168.

HARLEY, K. L. S. Production of viable seeds by water lettuce, *Pistia stratiotes* L., in Australia. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1990. Vol. 36, n° 3, pp. 277-279. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(90\)90041-I](https://doi.org/10.1016/0304-3770(90)90041-I).

169.

HATVANY, Matthew. VERGER, Fernand (2009) Zones humides du littoral français. Estuaires, deltas, marais et lagunes. Paris, Belin, 448 p. (ISBN 978-2-7011-5201-1). *Cahiers de géographie du Québec*. 2010. Vol. 54, n° 152, pp. 372-373. DOI <https://doi.org/10.7202/045661ar>.

170.

HATZENBERGER, Françoise. *Paysages et végétations des Antilles*. . Karthala Éditions, 2001. ISBN 2-84586-126-5.

171.

HAUG, Erika J., HARRIS, Jon T. et RICHARDSON, Robert J. Monoecious *Hydrilla verticillata* development in complete darkness. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2019. Vol. 154, pp. 28-34. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.12.005>.

172.

HAURY, J. Les types éco-morphologiques des macrophytes intérêt pour la description et la compréhension de la végétation des cours d'eau. In : *A NPP. Quinzihne Conference Columa Journées Internationales d'Etudes sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes*. 1992. pp. 1039-1047.

173.

HAURY, Jacques et MULLER, Serge. Les communautés de macrophytes: typologie, dynamique et production. *Ingénieries-EAT (spécial Plantes aquatiques d'eau douce: biologie, écologie et gestion)*. 2008. Vol. 37, pp. 50.

174.

HAURY, Jacques, THIÉBAUT, Gabrielle, COUDREUSE, Julie et MULLER, Serge. Les lichens, bryophytes, ptéridophytes et phanérogames aquatiques. *Ingénieries "spécial"*. 2008. pp. 23-36.

175.

HAYNES, Robert R et JACONO, Colette C. Status of *Salvinia* (Salviniaceae) in Alabama. *Castanea*. 2000. pp. 225-227.

176.

HELLMANN, Jessica J, BYERS, James E, BIERWAGEN, Britta G et DUKES, Jeffrey S. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation biology*. 2008. Vol. 22, n° 3, pp. 534-543.

177.

HERBUVEAUX, Gérard, PONGE, Jean-François, DEGOVE, Bernadette et POU CET, Régine. Les mécanismes de formation des mares et des tourbières dans des forêts du Sud de l'Île-de-France: rapport d'étape. . 2013.

178.

HERVÉ, Pauline. Fonctionnement écologique des mares forestières temporaires naturelles et restaurées: Décomposition de la matière organique et relations interspécifiques. . 2018.

179.

HITIER, Henri. Le village picard. In : *Annales de Géographie*. JSTOR, 1903. pp. 109-119. ISBN 0003-4010.

180.

HOFSTRA, Deborah, SCHOELYNCK, Jonas, FERRELL, Jason, COETZEE, Julie, WINTON, Mary de, BICKEL, Tobias O., CHAMPION, Paul, MADSEN, John, BAKKER, Elisabeth S., HILT, Sabine, MATHESON, Fleur, NETHERLAND, Mike et GROSS, Elisabeth M. On the move: New insights on the ecology and management of native and alien macrophytes. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2020. Vol. 162, pp. 103190. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2019.103190>.

181.

HOOK, Donal D, MCKEE JR, WH, SMITH, HK, GREGORY, James, BURRELL JR, VG, DEVOE, M Richard, SOJKA, RE, GILBERT, Stephen, BANKS, Roger et STOLZY, LH. *The Ecology and Management of Wetlands: Volume 1: Ecology of Wetlands*. . Springer Science & Business Media, 2012. ISBN 1-4684-8378-1.

182.

HOVEKA, L. N., BEZENG, B. S., YESSOUFOU, K., BOATWRIGHT, J. S. et BANK, M. Van der. Effects of climate change on the future distributions of the top five freshwater invasive plants in South Africa. *South African Journal of Botany*. [en ligne]. 2016. Vol. 102, pp. 33-38. DOI <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.07.017>.

183.

HU, Shengjie, NIU, Zhenguo, CHEN, Yanfen, LI, Lifeng et ZHANG, Haiying. Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 586, pp. 319-327.

184.

HUSSAIN, Naseer, ABBASI, Tasneem et ABBASI, S. A. Vermiremediation of an invasive and pernicious weed salvinia (*Salvinia molesta*). *Ecological Engineering*. [en ligne]. 2016. Vol. 91, pp. 432-440. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.010>.

185.

HUSSNER, A., STIERS, I., VERHOFSTAD, M. J. J. M., BAKKER, E. S., GRUTTERS, B. M. C., HAURY, J., VALKENBURG, J. L. C. H. van, BRUNDU, G., NEWMAN, J., CLAYTON, J. S., ANDERSON, L. W. J. et HOFSTRA, D. Management and control methods

186.

HUTCHINSON, G Eo. *A treatise on limnology. Volume III. Limnological botany*. . Wiley, 1975.

187.

INDERMUEHLE, Nicola, OERTLI, Beat, BIGGS, Jeremy, CÉRÉGHINO, Régis, GRILLAS, Patrick, HULL, Andrew, NICOLET, Pascale et SCHER, Olivier. Pond conservation in Europe: the European pond conservation network (EPCN). *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*. 2008. Vol. 30, n° 3, pp. 446-448.

188.

IQBAL, Sascha. Duckweed aquaculture. *Potentials, possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries*. SAN-DEC Report. 1999. N° 6/99.

189.

ISNARD, Hildebert. La Réunion et la Martinique. Notes de géographie comparée. *Les Cahiers d'Outre-Mer*. 1956. Vol. 9, n° 33, pp. 58-69.

190.

JACONO, Colette C, DAVERN, Tracy R et CENTER, Ted D. The adventive status of *Salvinia minima* and *S. molesta* in the southern United States and the related distribution of the weevil *Cyrtobagous salviniae*. *Castanea*. 2001. pp. 214-226.

191.

JACQUES, Fournet. *Flore illustrée des Phanérogames de Guadeloupe et de Martinique / Jacques Fournet ; [publié par] l'Institut national de la recherche agronomique*. . Paris : Institut national de la recherche agronomique, [sans date]. ISBN 2-85340-081-6.

192.

JAIN, Mayur Shirish et KALAMDHAD, Ajay S. A review on management of *Hydrilla verticillata* and its utilization as potential nitrogen-rich biomass for compost or biogas production. *Bioresource Technology Reports*. [en ligne]. 2018. Vol. 1, pp. 69-78. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.03.001>.

193.

JOLY, Fernand. Deux ouvrages récents sur la photographie aérienne. In : *Annales de Géographie*. JSTOR, 1972. pp. 230-232. ISBN 0003-4010.

194.

JOSE, Shibu, SINGH, Harminder Pal, BATISH, Daizy Rani et KOHLI, Ravinder Kumar. *Invasive plant ecology*. . CRC Press, 2013. ISBN 1-4398-8126-X.

195.

JOSEPH, Philippe. La question des espèces végétales invasives dans les Petites Antilles. Le cas de l'île de la Martinique. *Espaces tropicaux et risques, du local au global*. Editions IRD, Presses Universitaires d'Or-léans. 2004. pp. 328-329.

196.

JOSEPH, Philippe. *La végétation forestière des Petites Antilles: synthèse biogéographique et écologique, bilan et perspectives*. . KARTHALA Editions, 2009. ISBN 2-8111-0091-1.

197.

JULIEN, Mic H, HILL, Martin P et TIPPING, Philip W. *Salvinia molesta* DS Mitchell (Salviniaceae). *Weed biological control with arthropods in the tropics*. Cambridge University Press, Cambridge. 2009. pp. 378-407.

198.

JULIEN, Mic, MCFADYEN, R et CULLEN, J. *Salvinia molesta* DS Mitchell–salvinia. *Biological control of weeds in Australia*. 2012. pp. 518-25.

199.

JULIEN, Michael H et BOURNE, Anne S. Compensatory branching and changes in nitrogen content in the aquatic weed *Salvinia molesta* in response to disbudding. *Oecologia*. 1986. Vol. 70, n° 2, pp. 250-257.

200.

JUNK, Wolfgang J, PIEDADE, Maria Teresa Fernandez, LOURIVAL, R, WITTMANN, F, KANDUS, Patricia, LACERDA, Luiz D, BOZELLI, Reinaldo Luiz, ESTEVES, Francisco de Assis, NUNES DA CUNHA, C et MALTCHIK, Leonardo. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems*. 2014. Vol. 24, n° 1, pp. 5-22.

201.

KANABKAEW, Thongchai et PUETPAIBOON, Udomphon. Aquatic plants for domestic wastewater treatment: Lotus (*Nelumbo nucifera*) and Hydrilla (*Hydrilla verticillata*) systems. *Aquatic*. 2004. Vol. 26, n° 5, pp. 750.

202.

KEDDY, Paul A. *Wetland ecology: principles and conservation*. . Cambridge university press, 2010. ISBN 0-521-73967-5.

203.

KEELEY, Jon E et ZEDLER, Paul H. Characterization and global distribution of vernal pools. In : *Ecology, conservation, and management of vernal pool ecosystems, proceedings from 1996 conference*. 1998. pp. 14.

204.

KENNEDY, Michael P., LANG, Pauline, GRIMALDO, Julissa Tapia, MARTINS, Sara Varandas, BRUCE, Alannah, HASTIE, Adam, LOWE, Steven, ALI, Magdi M., SICHINGABULA, Henry, DALLAS, Helen, BRIGGS, John et MURPHY, Kevin J. Environmental drivers of aquatic macrophyte communities in southern tropical African rivers: Zambia as a case study. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2015. Vol. 124, pp. 19-28. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2015.03.002>.

205.

KHAN, AA et ARSHAD, SANA. Wetlands of Pakistan: distribution, degradation and management. *Pakistan Geographical Review*. 2014. Vol. 69, n° 1, pp. 28-45.

206.

KHAN, Muhammad Azim, MARWAT, Khan Bahadar, GUL, Bakhtiar, WAHID, Fazli, KHAN, Haroon et HASHIM, Saima. Pistia stratiotes L.(Araceae): Phytochemistry, use in medicines, phytoremediation, biogas and management options. *Pakistan Journal of Botany*. 2014. Vol. 46, n° 3, pp. 851-860.

207.

KIAI, S et MAILU, G. Wetland characterization and classification for sustainable agricultural development. *FAO–Food and Agriculture Organization of the United Nations (Ed.), Rome, Italy. Retrieved from: <http://www.fao.org/DOCREP/003/X6611E/x6611e02a.htm>* P. 1998. Vol. 402, pp. 9836.

208.

KNEITEL, Jamie M. Inundation timing, more than duration, affects the community structure of California vernal pool mesocosms. *Hydrobiologia*. 2014. Vol. 732, n° 1, pp. 71-83.

209.

KRISHNAN, Santhana, AHMAD, Mohamad Faizal, ZAINUDDIN, Nur Azmira, DIN, Mohd Fadhil Md, REZANIA, Shahabaldin, CHELLIAPAN, Shreeshivadasan, TAIB, Shazwin Mat, NASRULLAH, Mohd et WAHID, Zularisam Abdul. Chapter 9 - Bioethanol production from lignocellulosic biomass (water hyacinth): a biofuel alternative. In : SINGH, Lakhveer, YOUSUF, Abu et MAHAPATRA, Durga Madhab (éd.), *Bioreactors*. [en ligne]. Elsevier, 2020. pp. 123-143. ISBN 978-0-12-821264-6.

210.

KULA, Robert R. A new species of Chaenusa (Hymenoptera: Braconidae) reared from *Hydrellia pakistanae* and *Hydrellia sarahae* laticapsula (Diptera: Ephydriidae) infesting *Hydrilla verticillata* (Alismatales: Hydrocharitaceae) in India and Pakistan. *Florida Entomologist*. 2009. pp. 139-146.

211.
KURUGUNDLA, CN. Seed dynamics and control of *Pistia stratiotes* in two aquatic systems in Botswana. *African Journal of Aquatic Science*. 2014. Vol. 39, n° 2, pp. 209-214.
212.
LABAUGH, James W, ROSENBERRY, Donald O, MUSHET, David M, NEFF, Brian P, NELSON, Richard D et EULISS JR, Ned H. Long-term changes in pond permanence, size, and salinity in Prairie Pothole Region wetlands: The role of groundwater-pond interaction. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2018. Vol. 17, pp. 1-23.
213.
LACOSTE, Alain. *Éléments de biogéographie et d'écologie*. . 2001.
214.
LAL, Chaman et GOPAL, Brij. Production and germination of seeds in *Hydrilla verticillata*. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1993. Vol. 45, n° 2, pp. 257-261. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(93\)90025-R](https://doi.org/10.1016/0304-3770(93)90025-R).
215.
LANE, Amy L et KUBANEK, Julia. Structure–activity relationship of chemical defenses from the freshwater plant *Micranthemum umbrosum*. *Phytochemistry*. 2006. Vol. 67, n° 12, pp. 1224-1231.
216.
LANGELAND, Kenneth A. *Hydrilla verticillata* (LF) Royle (Hydrocharitaceae)," the perfect aquatic weed". *Castanea*. 1996. pp. 293-304.
217.
LEFOR, Michael W et KENNARD, William C. *Inland wetland definitions*. . 1977.
218.
LEHMANN, Herbert. La terminologie classique du karst sous l'aspect critique de la morphologie climatique moderne. *Géocarrefour*. 1960. Vol. 35, n° 1, pp. 1-6.
219.
LEIBOWITZ, Scott G. Isolated wetlands and their functions: an ecological perspective. *Wetlands*. 2003. Vol. 23, n° 3, pp. 517-531.
220.
LEMKE, David E. Aquatic macrophytes of the upper San Marcos River, Hays Co., Texas. *The Southwestern Naturalist*. 1989. Vol. 34, n° 2, pp. 289-291.
221.
LEMON, Gordon D et POSLUSZNY, Usher. Shoot morphology and organogenesis of the aquatic floating fern *Salvinia molesta* DS Mitchell, examined with the aid of laser scanning confocal microscopy. *International Journal of Plant Sciences*. 1997. Vol. 158, n° 6, pp. 693-703.
222.
LEPAGE, Ben A. *Wetlands: integrating multidisciplinary concepts*. . Springer Science & Business Media, 2011. ISBN 94-007-0551-4.
223.
LETERME, Pascal, LONDOÑO, Angela M., MUÑOZ, Jaime E., SÚAREZ, Jeimmy, BEDOYA, Carlos A., SOUFFRANT, Wolfgang B. et BULDGEN, André. Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell) in pigs. *Animal Feed*

- Science and Technology*. [en ligne]. 2009. Vol. 149, n° 1, pp. 135-148. DOI <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.04.013>.
224.
LÉVÊQUE, Christian, TABACCHI, Éric et MENOZZI, Marie-Jo. Les espèces exotiques envahissantes, pour une remise en cause des paradigmes écologiques. *Sciences Eaux Territoires*. 2012. N° 1, pp. 2-9.
225.
LEVESQUE, A. Inventaire de l'avifaune de 18 mares de Guadeloupe. Rapport AMAZONA n 3. . 2002.
226.
LI, Weiguo, WANG, Bingrui et WANG, Jianbo. Lack of genetic variation of an invasive clonal plant *Eichhornia crassipes* in China revealed by RAPD and ISSR markers. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2006. Vol. 84, n° 2, pp. 176-180. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.09.008>.
227.
LIN, Yanmei et YUE, Chen. China's New National Rules on Wetland Protection. *Available at SSRN 2517481*. 2014.
228.
LOCKY, David A, BAYLEY, Suzanne E et VITT, Dale H. The vegetational ecology of black spruce swamps, fens, and bogs in southern boreal Manitoba, Canada. *Wetlands*. 2005. Vol. 25, n° 3, pp. 564-582.
229.
MACDONALD, Gregory E, PURI, Atul et SHILLING, Donn G. Interactive effect of photoperiod and fluridone on growth, reproduction, and biochemistry of dioecious hydrilla (*Hydrilla verticillata*). *Weed science*. 2008. Vol. 56, n° 2, pp. 189-195.
230.
MACRAE, Merrin L, BROWN, Laura C, DUGUAY, Claude R, PARROTT, Jennifer A et PETRONE, Richard M. Observed and projected climate change in the Churchill region of the Hudson Bay Lowlands and implications for pond sustainability. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2014. Vol. 46, n° 1, pp. 272-285.
231.
MADDI, Franck A. Contribution à l'inventaire de la flore dulçaquicole de la Guadeloupe: les «espèces exotiques envahissantes». Bilan des prospections. . 2010.
232.
MADDI, Franck A. Contribution à l'inventaire de la flore dulçaquicole de la Martinique: les «espèces exotiques envahissantes». Bilan des prospections. . 2014.
233.
MADDI, Franck A et BRIZARD, Jean-Pierre. *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle, une nouvelle espèce envahissante en Martinique?: Situation actuelle et prospective. *Bulletin de la Société des sciences naturelles de l'Ouest de la France (1983)*. 2010. Vol. 32, n° 1, pp. 16-31.
234.
MADEIRA, Paul T., COETZEE, Julie A., CENTER, Ted D., WHITE, Emily E. et TIPPING, Phillip W. The origin of *Hydrilla verticillata* recently discovered at a South African dam. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2007. Vol. 87, n° 2, pp. 176-180. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.04.008>.

235.

MAHDAVI, Sahel, SALEHI, Bahram, GRANGER, Jean, AMANI, Meisam, BRISCO, Brian et HUANG, Weimin. Remote sensing for wetland classification: A comprehensive review. *GIScience & Remote Sensing*. 2018. Vol. 55, n° 5, pp. 623-658.

236.

MAJOR, Péguy. Apport de l'écologie du paysage dans un espace insulaire fortement anthropisé: exemple de la Martinique. *VertigO: la revue électronique en sciences de l'environnement*. 2017. Vol. 17, n° 3.

237.

MAJOR, Péguy et CLAUDE, Jean-Philippe. Les milieux humides dans le paysage des Petites Antilles: étude des mares de la Martinique. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*. 2021. Vol. 21, n° 1.

238.

MAKI, Kristine et GALATOWITSCH, Susan. Movement of invasive aquatic plants into Minnesota (USA) through horticultural trade. *Biological Conservation*. [en ligne]. 2004. Vol. 118, n° 3, pp. 389-396. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.09.015>.

239.

MARTIN, G. D., COETZEE, J. A., WEYL, P. S. R., PARKINSON, M. C. et HILL, M. P. Biological control of *Salvinia molesta* in South Africa revisited. *Biological Control*. [en ligne]. 2018. Vol. 125, pp. 74-80. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.06.011>.

240.

MAY, Suellen. *Invasive aquatic and wetland plants*. . Chelsea House, 2007. ISBN 0-7910-9130-9.

241.

MAYO, Aloyce W. et HANAI, Emmanuel E. Modeling phytoremediation of nitrogen-polluted water using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. [en ligne]. 2017. Vol. 100, pp. 170-180. DOI <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.10.016>.

242.

MAZAUBERT, Emilie et DUTARTRE, Alain. Evaluation des risques causés par les espèces exotiques envahissantes en milieux aquatiques. . 2010.

243.

MÉNARD, Sylvain, DARVEAU, Marcel et IMBEAU, Louis. Histoire de la classification des milieux humides au Québec. *Le Naturaliste Canadien*. 2007. Vol. 131, n° 2, pp. 85-90.

244.

MER, Impact et BIOS, IGED. Inventaire des zones humides de la Martinique. Mise à jour de l'inventaire, évolution temporelle des zones humides et préconisations générales de gestion. *Rapport pour: PNRM, DEAL, ODE*. 2015.

245.

MERCIER, Denis. *Géomorphologie de la France*. . Dunod, 2013. ISBN 2-10-059706-X.

246.

MHATRE, G. N. et CHAPHEKAR, S. B. The effect of mercury on some aquatic plants. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*. [en ligne]. 1985. Vol. 39, n° 3, pp. 207-216. DOI [https://doi.org/10.1016/0143-1471\(85\)90097-2](https://doi.org/10.1016/0143-1471(85)90097-2).

247.

MITAN, Nona Merry M. Water hyacinth: Potential and Threat. *Materials Today: Proceedings*. [en ligne]. 2019. Vol. 19, pp. 1408-1412. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.160>.

248.
MITCHELL, DS et TUR, NM. The rate of growth of *Salvinia molesta* (*S. auriculata* Auct.) in laboratory and natural conditions. *Journal of applied ecology*. 1975. pp. 213-225.
249.
MITSCH, William J. Global wetlands: old world and new. . 1994.
250.
MITSCH, William J et GOSSELINK, James G. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics*. 2000. Vol. 35, n° 1, pp. 25-33.
251.
MITSCH, William J et HERNANDEZ, Maria E. Landscape and climate change threats to wetlands of North and Central America. *Aquatic Sciences*. 2013. Vol. 75, n° 1, pp. 133-149.
252.
MITSCH, William J, STRAŠKRABA, Milan et JORGENSEN, Sven Erik. *Wetland modelling*. . Elsevier, 2012. ISBN 0-444-59769-7.
253.
MITSCH, William J et WILSON, Renee F. Improving the success of wetland creation and restoration with know-how, time, and self-design. *Ecological applications*. 1996. Vol. 6, n° 1, pp. 77-83.
254.
MONÇÃO, Fernanda Silva, SANTOS, Anderson Medeiros dos et BINI, Luis Mauricio. Aquatic macrophyte traits and habitat utilization in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2012. Vol. 102, pp. 50-55. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.04.008>.
255.
MOORE, Peter D. Ecosystem; Wetlands, Revised Edition. *Facts on File Inc*. 2008.
256.
MOOZHYYIL, Mathew et PALLAUF, Josef. Chemical composition of the water fern, *Salvinia molesta*, and its potential as feed source for ruminants. *Economic Botany*. 1986. Vol. 40, n° 3, pp. 375-383.
257.
MORA-OLIVO, Arturo et YATSKIEVYCH, George. *Salvinia molesta* in Mexico. *American Fern Journal*. 2009. Vol. 99, n° 1, pp. 56-58.
258.
MUBARAK, M., SHAIJA, A. et SUCHITHRA, T. V. Experimental evaluation of *Salvinia molesta* oil biodiesel/diesel blends fuel on combustion, performance and emission analysis of diesel engine. *Fuel*. [en ligne]. 2021. Vol. 287, pp. 119526. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119526>.
259.
MULCAHY, David L. The reproductive biology of *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae). *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 1975. pp. 18-21.
260.
MULHAUSER, B et MONNIER, C. Guide de la faune et de la flore, des lacs et des etangs d'Europe. 448p. . 1995.

261.

MULLER, Serge. Les espèces végétales invasives en France: bilan des connaissances et propositions d'actions. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*. 2000. pp. 53-70.

262.

MULLER, Serge. Plantes invasives en France: état des connaissances et propositions d'actions. *Collection patrimoines naturels*. 2004.

263.

MUNIAPPAN, Rangaswamy, REDDY, Gadi VP et RAMAN, Anantanarayanan. *Biological control of tropical weeds using arthropods*. . Cambridge University Press, 2009. ISBN 0-521-87791-1.

264.

MURAMOTO, S et OKI, Y. Removal of some heavy metals from polluted water by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1983. Vol. 30, n° 1, pp. 170-177.

265.

MURPHY, Kevin, EFREMOV, Andrey, DAVIDSON, Thomas A., MOLINA-NAVARRO, Eugenio, FIDANZA, Karina, BETIOL, Tânia Camila Crivelari, CHAMBERS, Patricia, GRIMALDO, Julissa Tapia, MARTINS, Sara Varandas, SPRINGUEL, Irina, KENNEDY, Michael, MORMUL, Roger Paulo, DIBBLE, Eric, HOFSTRA, Deborah, LUKÁCS, Balázs András, GEBLER, Daniel, BAASTRUP-SPOHR, Lars et URRUTIA-ESTRADA, Jonathan. World distribution, diversity and endemism of aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2019. Vol. 158, pp. 103127. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2019.06.006>.

266.

MURUGESAN, A. G., VIJAYALAKSHMI, G. S., SUKUMARAN, N. et MARIAPPAN, C. Utilization of water hyacinth for oyster mushroom cultivation. *Bioresource Technology*. [en ligne]. 1995. Vol. 51, n° 1, pp. 97-98. DOI [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00063-K](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00063-K).

267.

MUSTAFA, Hauwa M. et HAYDER, Gasim. Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article. *Ain Shams Engineering Journal*. [en ligne]. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.009>.

268.

MUSY, André et HIGY, Christophe. *Hydrologie: Une science de la nature*. . PPUR presses polytechniques, 2004. ISBN 2-88074-546-2.

269.

MUTHURI, F. M. et KINYAMARIO, J. I. Nutritive Value of Papyrus (*Cyperus papyrus*, Cyperaceae), a Tropical Emergent Macrophyte. *Economic Botany*. [en ligne]. 1989. Vol. 43, n° 1, pp. 23-30. [Consulté le 10 janvier 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.jstor.org/bu-services.univ-antilles.fr:5000/stable/4255129>

JSTOR

Insgesamt besitzt Papyrus einiges Potential für Beweidung und könnte, besonders in der Trockenzeit, wenn anderes Futter rar und von geringem Nährwert ist, verfüttert werden.]

270.

MUTHURI, Francis M et JONES, Michael B. Nutrient distribution in a papyrus swamp: Lake Naivasha, Kenya. *Aquatic Botany*. 1997. Vol. 56, n° 1, pp. 35-50.

271.
NAGABHATLA, Nidhi et METCALFE, Christopher D. *Multifunctional wetlands: pollution abatement and other ecological services from natural and constructed wetlands*. . Springer, 2017. ISBN 3-319-67416-1.
272.
NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Wetlands: Characteristics and boundaries*. . National Academies Press, 1995. ISBN 0-309-58722-0.
273.
NG, Yin Sim et CHAN, Derek Juinn Chieh. Wastewater phytoremediation by *Salvinia molesta*. *Journal of Water Process Engineering*. [en ligne]. 2017. Vol. 15, pp. 107-115. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.08.006>.
274.
NYMAN, John A. Ecological functions of wetlands. In : *Wetlands*. Springer, 2011. pp. 115-128.
275.
OERTLI, Beat, BIGGS, Jeremy, CÉRÉGHINO, Régis, GRILLAS, Patrick, JOLY, Pierre et LACHAVANNE, Jean-Bernard. Conservation and monitoring of pond biodiversity: introduction. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 2005. Vol. 15, n° 6, pp. 535-540.
276.
OERTLI, Beat, CÉRÉGHINO, Régis, BIGGS, Jeremy, DECLERCK, Steven, HULL, Andrew et MIRACLE, Maria Rosa. *Pond conservation in Europe*. . Springer, 2010. ISBN 90-481-9087-8.
277.
OERTLI, Beat et FROSSARD, Pierre-André. *Mares et étangs: Ecologie, conservation, gestion, valorisation*. . PUR Presses polytechniques, 2013. ISBN 2-88074-963-8.
278.
OLIVEIRA-JUNIOR, Ernandes Sobreira, TANG, Yingying, VAN DEN BERG, Sanne JP, CARDOSO, Simone J, LAMERS, Leon PM et KOSTEN, Sarian. The impact of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on greenhouse gas emission and nutrient mobilization depends on rooting and plant coverage. *Aquatic Botany*. 2018. Vol. 145, pp. 1-9.
279.
OLLIS, Dean J, DAY, Jennifer A, MBONA, Namhla et DINI, John A. South African Wetlands: Classification of Ecosystem Types. . 2016.
280.
ORAIN, Olivier. La géographie française face à la notion d'échelle. . 2004.
281.
ORIGO, Micheline, Nadia ; Wicherek, Stanislas ; Hotyat. Réhabilitation des sites pollués par phytoremédiation. *VertigO*. 2012. Vol. 12, n° 2.
282.
ORTH, H. M. et SAPKOTA, D. P. Upgrading a facultative pond by implanting water hyacinth. *Water Research*. [en ligne]. 1988. Vol. 22, n° 12, pp. 1503-1511. DOI [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(88\)90162-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(88)90162-5).

283.

OUZEAU, G, DÉQUÉ, M, JOUINI, M, PLANTON, S, VAUTARD, R et JOUZEL, J. Scénarios régionalisés: édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. *Le climat de la France au XXIe siècle*. 2014. Vol. 4.

284.

OZENGIN, Nihan et ELMACI, Ayse. Performance of Duckweed(Lemna minor L.) on different types of wastewater treatment. *Journal of Environmental Biology*. 2007. Vol. 28, n° 2, pp. 307-314.

285.

PANFILI, Ivan, BARTUCCA, Maria Luce, BALLERINI, Eleonora et BUONO, Daniele Del. Combination of aquatic species and safeners improves the remediation of copper polluted water. *Science of The Total Environment*. [en ligne]. 2017. Vol. 601-602, pp. 1263-1270. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.003>.

286.

PANIGRAHY, Sushma, MURTHY, T. V. R., PATEL, J. G. et SINGH, T. S. Wetlands of India: inventory and assessment at 1:50,000 scale using geospatial techniques. *Current Science*. [en ligne]. 2012. Vol. 102, n° 6, pp. 852-856. [Consulté le 2 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.jstor.org/bu-services.univ-antilles.fr:5000/stable/24084499>

JSTOR

PARK, Bong Je et YUN, Hyun Shik. Treatment of water hyacinth for bioethanol production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. [en ligne]. 2009. Vol. 108, pp. S46. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2009.08.132>.

288.

PARKER, John D, COLLINS, Dwight O, KUBANEK, Julia, SULLARDS, M Cameron, BOSTWICK, David et HAY, Mark E. Chemical defenses promote persistence of the aquatic plant *Micranthemum umbrosum*. *Journal of chemical ecology*. 2006. Vol. 32, n° 4, pp. 815-833.

289.

PELTRE, Marie-Christine, DUTARTRE, Alain, BARRAT-SEGRETAIN, Marie-Hélène et DANDELLOT, Sophie. Biologie des macrophytes à potentiel proliférant. *Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires, Numéro spécial «Plantes aquatiques d'eau douce: biologie, écologie et gestion*. 2008. pp. 109-123.

290.

PETRUZZELLA, Antonella, GUARIENTO, Rafael Dettogni, GRIPP, Anderson da Rocha, MARINHO, Claudio Cardoso, FIGUEIREDO-BARROS, Marcos Paulo et ESTEVES, Francisco de Assis. Herbivore damage increases methane emission from emergent aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2015. Vol. 127, pp. 6-11. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2015.07.003>.

291.

PIETERSE, Arnold H, KETTUNEN, Marianne, DIOUF, Sara, NDAO, Ismael, SARR, Khady, TARVAINEN, Anne, KLOFF, Sandra et HELLSTEN, Seppo. Effective biological control of *Salvinia molesta* in the Senegal River by means of the weevil *Cyrtobagous salviniae*. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2003. Vol. 32, n° 7, pp. 458-462.

292.

POLPRASERT, C., KONGSRICHAROERN, N. et KANJANAPRAPIN, W. Production of feed and fertilizer from water Hyacinth plants in the tropics. *Waste Management & Research*. [en ligne]. 1994. Vol. 12, n° 1, pp. 3-11. DOI [https://doi.org/10.1016/S0734-242X\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/S0734-242X(94)90016-7).

293.
PORTECOP, Jacques. Phytogéographie, cartographie écologique et aménagement dans une île tropicale. Le cas de la Martinique. *Grenoble, France*. 1978. Vol. 377.
294.
PRABHA, S. Pandi, KARTHIK, C. et CHANDRIKA, S. Hema. Phytol – A biosurfactant from the aquatic weed *Hydrilla verticillata*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. [en ligne]. 2019. Vol. 17, pp. 736-742. DOI <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.01.026>.
295.
PRICE, JONATHAN S. L'hydrologie. *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. 2001. pp. 141-158.
296.
PROCTER, DLC. Biological control of the aquatic weed *Salvinia molesta* DS Mitchell in Botswana using the weevils *Cyrtobagous singularis* and *Cyrtobagous* sp. nov. *Botswana Notes and Records*. 1983. pp. 99-101.
297.
PROKOPUK, Mariana et ZUB, Lesya. Ecological features of the alien species *Pistia stratiotes* L. in different habitats of the secondary distribution range (Ukraine). *Hacquetia*. 2022.
298.
PULIDO, Carlos R Fernandez, CABALLERO, Jonathan, BRUNS, Mary Ann et BRENNAN, Rachel A. Recovery of waste nutrients by duckweed for reuse in sustainable agriculture: Second-year results of a field pilot study with sorghum. *Ecological Engineering*. 2021. Vol. 168, pp. 106273.
299.
PURI, Atul, MACDONALD, Gregory E, ALTPETER, Fredy et HALLER, William T. Mutations in phytoene desaturase gene in fluridone-resistant hydrilla (*Hydrilla verticillata*) biotypes in Florida. *Weed science*. 2007. pp. 412-420.
300.
RAGUSH, Colin M., SCHMIDT, Jordan J., KRKOSEK, Wendy H., GAGNON, Graham A., TRUELSTRUP-HANSEN, Lisbeth et JAMIESON, Rob C. Performance of municipal waste stabilization ponds in the Canadian Arctic. *Ecological Engineering*. [en ligne]. 2015. Vol. 83, pp. 413-421. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.07.008>.
301.
RAMADE, François. *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*. . Dunod, 2008. ISBN 2-10-053670-2.
302.
RAMADE, François. *Éléments d'écologie: écologie fondamentale*. . Dunod, 2009.
303.
RANARIJAONA, Andrianasetra, Hery ; Zainabo, Félicie ; Herilala, Andriamanantena ; Simon. Évaluation de la prolifération de la Jacinthe d'eau du lac Ravelobe Ankarafantsika et plan de restauration. *VertigO*. 2013. Vol. 13, n° 1.
304.
RANI, V. Usha et BHAMBIE, S. A study on the growth of *Salvinia molesta* Mitchell in relation to light and temperature. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1983. Vol. 17, n° 2, pp. 119-124. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(83\)90108-0](https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90108-0).

305.

RAYNAL-ROQUES, Aline. Les plantes aquatiques. *Flore et faune Aquatiques de L'Afrique Sahelosoudanienne*. ORSTOM, Paris. 1980. pp. 63-152.

306.

REVERT, Eugène. *Les Antilles*. A. Colin, 1954.

307.

RICHARDSON, David M et PYŠEK, Petr. What is an invasive species. *Crop protection compendium*. 2004.

308.

ROBERTSON, Hugh A. Wetland reserves in New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology*. [en ligne]. 2016. Vol. 40, n° 1, pp. 1-11. [Consulté le 2 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.jstor.org/bu-services.univ-antilles.fr:5000/stable/26198722>

JSTOR

[Abstract: The extent and integrity of wetland ecosystems in New Zealand has declined. Only an estimated 10% of the historic (pre-European) extent of inland palustrine wetlands now

309.

ROLON, Ana Silvia, ROCHA, Odete et MALTCHIK, Leonardo. Do effects of landscape factors on coastal pond macrophyte communities depend on species traits? *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2012. Vol. 103, pp. 115-121. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.07.004>.

310.

ROOM, P. M. Equations relating growth and uptake of nitrogen by *Salvinia molesta* to temperature and the availability of nitrogen. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1986. Vol. 24, n° 1, pp. 43-59. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(86\)90116-6](https://doi.org/10.1016/0304-3770(86)90116-6).

311.

ROOM, P. M. et GILL, J. Y. The chemical environment of *Salvinia molesta* Mitchell: Ionic concentrations of infested waters. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1985. Vol. 23, n° 2, pp. 127-135. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(85\)90060-9](https://doi.org/10.1016/0304-3770(85)90060-9).

312.

ROOM, P. M. et KERR, J. D. Temperatures experienced by the floating weed *Salvinia molesta* Mitchell and their prediction from meteorological data. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1983. Vol. 16, n° 1, pp. 91-103. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(83\)90054-2](https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90054-2).

313.

ROOM, P. M. et THOMAS, P. A. Nitrogen, phosphorus and potassium in *Salvinia molesta* Mitchell in the field: effects of weather, insect damage, fertilizers and age. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1986. Vol. 24, n° 3, pp. 213-232. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(86\)90058-6](https://doi.org/10.1016/0304-3770(86)90058-6).

314.

ROOM, PM. Falling apart'as a lifestyle: the rhizome architecture and population growth of *Salvinia molesta*. *The Journal of Ecology*. 1983. pp. 349-365.

315.

ROOM, PM. Effects of temperature, nutrients and a beetle on branch architecture of the floating weed *Salvinia molesta* and simulations of biological control. *The Journal of Ecology*. 1988. pp. 826-848.

316.

ROOM, PM, JULIEN, MH et FORNO, IW. Vigorous plants suffer most from herbivores: latitude, nitrogen and biological control of the weed *Salvinia molesta*. *Oikos*. 1989. pp. 92-100.

317.

ROOM, PM et THOMAS, PA. Nitrogen and establishment of a beetle for biological control of the floating weed *Salvinia* in Papua New Guinea. *Journal of Applied Ecology*. 1985. pp. 139-156.

318.

ROOM, PM et THOMAS, PA. Population growth of the floating weed *Salvinia molesta*: field observation and a global model based on temperature and nitrogen. *Journal of applied ecology*. 1986. pp. 1013-1028.

319.

ROSADO, Mario J, BAUSCH, Florian, RENCORET, Jorge, MARQUES, Gisela, GUTIÉRREZ, Ana, ROSENAU, Thomas, POTTHAST, Antje et JOSÉ, C. Differences in the content, composition and structure of the lignins from rind and pith of papyrus (*Cyperus papyrus* L.) culms. *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 174, pp. 114226.

320.

ROSSET, Véronique. Biodiversité des mares et étangs: impact du réchauffement climatique et de l'eutrophisation. . 2011.

321.

ROUGERIE, Gabriel. Biogéographie des milieux aquatiques. . 1993.

322.

ROWE, Carol A., HAUBER, Donald P. et WOLF, Paul G. Genomic variation of introduced *Salvinia minima* in southeastern United States. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2018. Vol. 151, pp. 38-42. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.07.011>.

323.

SAFFACHE, Pascal. Pour une protection et une gestion durable des rivières de l'île de la Martinique. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*. 2000. N° 40, pp. 95-98.

324.

SAJALOLI, Bertrand. Les zones humides : une nouvelle vitrine pour l'environnement (Wetlands: a new showcase for environment). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*. 1996. Vol. 73, n° 2, pp. 132-144.

325.

SAJALOLI, Bertrand et TEISSIER-ENSMINGER, Anne. Radioscopie des mares. . 1997.

326.

ŠAJNA, Nina, HALER, Maja, ŠKORNIK, Sonja et KALIGARIČ, Mitja. Survival and expansion of *Pistia stratiotes* L. in a thermal stream in Slovenia. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2007. Vol. 87, n° 1, pp. 75-79. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.01.012>.

327.

SARAT, Emmanuelle, MAZAUBERT, Emilie, DUTARTRE, Alain, POULET, Nicolas et SOUBEYRAN, Yohann. Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques. *Connaissances pratiques et expériences de gestion*. 2015. Vol. 1.

328.

SAURO, Ugo. Closed depressions in karst areas. In : *Encyclopedia of caves*. Elsevier, 2019. pp. 285-300.

329.

SCOTT, DA et JONES, TA. Classification and inventory of wetlands: A global overview. *Vegetatio*. 1995. Vol. 118, n° 1, pp. 3-16.

330.

SCRIVER, Michelle, MARINICH, Allison, WILSON, Chris et FREELAND, Joanna. Development of species-specific environmental DNA (eDNA) markers for invasive aquatic plants. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2015. Vol. 122, pp. 27-31. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2015.01.003>.

331.

SEAMAN, DE et PORTERFIELD, WA. Control of aquatic weeds by the snail *Marisa cornuarietis*. *Weeds*. 1964. Vol. 12, n° 2, pp. 87-92.

332.

SELS, Florence. Contribution à la définition d'unités pédo-paysagères à la Martinique: illustration, explicitation et confrontation des documents existants sur le cadre physique. . 1999.

333.

SEMENIUK, CA et SEMENIUK, V. A comprehensive classification of inland wetlands of Western Australia using the geomorphic-hydrologic approach. *Journal of the Royal Society of Western Australia*. 2011. Vol. 94, n° 3, pp. 449.

334.

SHAW, Samuel P et FREDINE, Clarence Gordon. *Wetlands of the United States: Their Extent And Their Value to Waterfowl and Other Wildlife*. . US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, 1956.

335.

SHINE, Clare. Etat des lieux et recommandations sur les outils juridiques portant sur les espèces exotiques envahissantes dans les collectivités françaises d'outre-mer. *Comité français de l'UICN, Paris, France*. 2008. pp. 16.

336.

SIERRA, Jorge. Focus 3-2. Stocks et stockage de carbone: le cas des sols des Antilles. . 2020.

337.

SILVA, Rui P., MELO, Marcelo M. R. de, SILVESTRE, Armando J. D. et SILVA, Carlos M. Polar and lipophilic extracts characterization of roots, stalks, leaves and flowers of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), and insights for its future valorization. *Industrial Crops and Products*. [en ligne]. 2015. Vol. 76, pp. 1033-1038. DOI <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.055>.

338.

SINDHU, Raveendran, BINOD, Parameswaran, PANDEY, Ashok, MADHAVAN, Aravind, ALPHONSA, Jose Anju, VIVEK, Narisetty, GNANSOUNOU, Edgard, CASTRO, Eulogio et FARACO, Vincenzo. Water hyacinth a potential source for value addition: an overview. *Bioresource technology*. 2017. Vol. 230, pp. 152-162.

339.

SKINNER, Jamie, BEAUMOND, Nils et PIROT, Jean-Yves. *Manuel de formation à la gestion des zones humides tropicales*. . UICN, 1994.

340.

SMARDON, Richard. Review of Wetland Management Roles, Functions, and Innovations. In : *Sustaining the World's Wetlands*. Springer, 2009. pp. 301-312.

341.
SMARDON, Richard. *Sustaining the World's Wetlands*. . Springer, 2014. ISBN 1-4899-8481-X.
342.
SOUBEYRAN, Yohann. Espèces exotiques envahissantes dans les collectivités françaises d'outre-mer. *Etat des lieux et recommandations. Collection Planète Nature. Comité français de l'UICN, Paris, France*. 2008.
343.
SOUBEYRAN, Yohann, GOARANT, Anne-Claire, LAVERGNE, Christophe, MANRY, Carole, MALAU, Atoloto, MEYER, Jean-Yves, DE THOISY, Benoit et URTIZBEREA, Frank. Bilan des espèces exotiques envahissantes en milieux aquatiques sur le territoire français: bilan synthétique pour l'outre-mer. *Sciences Eaux Territoires*. 2012. N° 1, pp. 64-67.
344.
SOUBEYRAN, Yohann, GOARANT, Anne-Claire, LAVERGNE, Christophe, MANRY, Carole, MALAU, Atoloto, MEYER, Jean-Yves, DE THOISY, Benoit et URTIZBEREA, Frank. Enjeux de la gestion des espèces exotiques envahissantes dans les milieux d'eau douce en outre-mer. *Sciences Eaux Territoires*. 2012. N° 1, pp. 34-37.
345.
SPENCER, David F et ANDERSON, Lars WJ. Photoperiod responses in monoecious and dioecious *Hydrilla verticillata*. *Weed Science*. 1986. pp. 551-557.
346.
STEHLÉ, Henri. La végétation des Antilles Françaises. *Bulletin de Agricole de la Martinique*. 1940. Vol. 9, pp. 19-28.
347.
STEWART, Kerry K et VAN, Thai K. Comparative studies of monoecious and dioecious hydrilla (*Hydrilla verticillata*) biotypes. *Weed Science*. 1987. pp. 204-210.
348.
STEWART, Kerry K, VAN, Thai K, CARTER, Virginia et PIETERSE, Arnold H. *Hydrilla* invades Washington, DC and the Potomac. *American Journal of Botany*. 1984. Vol. 71, n° 1, pp. 162-163.
349.
STEWART, Kerry K. Seed production in monoecious and dioecious populations of *Hydrilla*. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1993. Vol. 46, n° 2, pp. 169-183. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(93\)90044-W](https://doi.org/10.1016/0304-3770(93)90044-W).
350.
SULLIVAN, Paul R., POSTLE, Lesley A. et JULIEN, Mic. Biological control of *Salvinia molesta* by *Cyrtobagous salviniae* in temperate Australia. *Biological Control*. [en ligne]. 2011. Vol. 57, n° 3, pp. 222-228. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.03.009>.
351.
SUTTON, David L, LITTELL, RC et LANGELAND, KA. Intraspecific competition of *Hydrilla verticillata*. *Weed Science*. 1980. pp. 425-428.
352.
TABOSA, Alyne Bezerra, MATIAS, Lígia Queiroz et MARTINS, Fernando Roberto. Live fast and die young: The aquatic macrophyte dynamics in a temporary pool in the Brazilian semiarid region. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2012. Vol. 102, pp. 71-78. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.05.004>.

353.

TARLYN, Nathan M., KOSTMAN, Todd A., NAKATA, Paul A., KEATES, Sarah E. et FRANCESCHI, Vincent R. Axenic culture of *Pistia stratiotes* for use in plant biochemical studies. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1998. Vol. 60, n° 2, pp. 161-168. DOI [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(97\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(97)00078-8).

354.

TAYLOR, Barry R. et HELWIG, Joseph. Submergent macrophytes in a cooling pond in Alberta, Canada. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1995. Vol. 51, n° 3, pp. 243-257. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(95\)00475-F](https://doi.org/10.1016/0304-3770(95)00475-F).

355.

TCHATAT, Mathurin, BOWONG, Samuel, FOMBA, CG et DIBONG, Siegfried Didier. Potentiel invasif des espèces végétales exotiques ornementales des jardins de fleurs de la ville de Douala (Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*. 2014. Vol. 78, pp. 6714-6728.

356.

TÉLLEZ, Trinidad Ruiz, LÓPEZ, EMDR, GRANADO, Gloria Lorenzo, PÉREZ, Eva Albano, LÓPEZ, Ricardo Morán et GUZMÁN, Juan Manuel Sánchez. The water hyacinth, *Eichhornia crassipes*: an invasive plant in the Guadiana River Basin (Spain). *Aquatic Invasions*. 2008. Vol. 3, n° 1, pp. 42-53.

357.

THEURI, Mwangi. Water Hyacinth-can Its Aggressive Invasion Be Controlled? *UNEP United Nations Environment Programme*. April. 2013. Vol. 1.

358.

THOMAS, PA et ROOM, a PM. Taxonomy and control of *Salvinia molesta*. *Nature, UK*. 1986. Vol. 320, n° 6063, pp. 581-584.

359.

THOMPSON, Keith. Emergent plants of permanent and seasonally-flooded wetlands. In : *The ecology and management of African wetland vegetation*. Springer, 1985. pp. 43-107.

360.

THOMPSON, Keith. *Hydrological assessments of ten wetlands in the Wellington region and recommendations for sustainable management: a holistic approach*. . Bogman Ecological, 2012.

361.

TINER, Ralph W. The concept of a hydrophyte for wetland identification. *Bioscience*. 1991. Vol. 41, n° 4, pp. 236-247.

362.

TINER, Ralph W. *Wetland indicators: A guide to wetland formation, identification, delineation, classification, and mapping*. . CRC press, 2016. ISBN 1-315-37471-4.

363.

TIPPING, Philip W., MARTIN, Melissa R., CENTER, Ted D. et DAVERN, Tracy M. Suppression of *Salvinia molesta* Mitchell in Texas and Louisiana by *Cyrtobagous salviniae* Calder and Sands. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2008. Vol. 88, n° 3, pp. 196-202. DOI <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.10.010>.

364.

TOERIEN, D. F., CARY, P. R., FINLAYSON, C. M., MITCHELL, D. S. et WEERTS, P. G. J. Growth models for *Salvinia molesta*. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1983. Vol. 16, n° 2, pp. 173-179. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(83\)90092-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90092-X).

365.

TOUCHART, Laurent. Le processus de stratification/déstratification en étang par des mesures thermiques en continu. In : *Cilef 2000-6e Conférence Internationale des Limnologues d'expression française*. Annales scientifiques de l'Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand 2, Biologie, 2000. pp. 65.

366.

TOUCHART, Laurent. Géographie de l'étang: des théories globales aux pratiques locales. *Géographie de l'étang*. 2007. pp. 1-230.

367.

TOUCHART, Laurent. La définition de l'étang en géographie limnologique. . 2007.

368.

UNADKAT, K et PARIKH, P. Localization of Cadmium metal ion in Lemna polyrhiza L. using SEM morphology and EDX analysis. *Environment Conservation Journal*. 2019. Vol. 20, n° 1 & 2, pp. 81-86.

369.

URBANC-BERČIČ, Olga et GABERŠČIK, Alenka. The influence of temperature and light intensity on activity of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.). *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1989. Vol. 35, n° 3, pp. 403-408. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(89\)90011-9](https://doi.org/10.1016/0304-3770(89)90011-9).

370.

VAN DAM, Denise, STREITH, Michel, NIZET, Jean et STASSART, Pierre. *Agroécologie: entre pratiques et sciences sociales*. . Educagri Editions, 2012. ISBN 2-84444-876-3.

371.

VAN METER, Kimberly J. et BASU, Nandita B. Signatures of human impact: size distributions and spatial organization of wetlands in the Prairie Pothole landscape. *Ecological Applications*. [en ligne]. 2015. Vol. 25, n° 2, pp. 451-465. [Consulté le 2 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.jstor.org/bu-services.univ-antilles.fr:5000/stable/24432315>

JSTOR

372.

VENKATAPEN, Corinne. Étude des déterminants géographiques et spatialisation des stocks de carbone des sols de la Martinique. . 2012.

373.

VERMA, Devendra Kumar, HASAN, Syed Hadi et BANIK, Rathindra Mohan. Photo-catalyzed and phyto-mediated rapid green synthesis of silver nanoparticles using herbal extract of *Salvinia molesta* and its antimicrobial efficacy. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. [en ligne]. 2016. Vol. 155, pp. 51-59. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.12.008>.

374.

VINCENT, Reinhard, Warwick ; Pienitz. Sensitivity of High-latitude Freshwater Ecosystems to Global Change: Temperature and Solar Ultraviolet Radiation. *Geoscience Canada*. 1996. Vol. 23, n° 4, pp. 231-236.

375.

VYMAZAL, Jan. Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: a review. *Ecological engineering*. 2013. Vol. 61, pp. 582-592.

376.

WANG, Yibo, WANG, Xiuyun, YANG, Ruixue, NIU, Liangjie et WANG, Wei. Comparison of protein extraction methods for 2DE-based proteomic analysis of duckweed *Spirodela polyrhiza*, a small aquatic model plant. *Aquatic Botany*. 2020. Vol. 163, pp. 103216.

377.

WARNER, Barry. Geology of Canadian Wetlands. *Geoscience Canada*. 2004. Vol. 31, n° 2, pp. 57-68.

378.

WATSON, Robert T, ZINYOWERA, Marufu C et MOSS, Richard H. *Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses*. . 1996.

379.

WELDON, Lyle W et BLACKBURN, Robert D. Water Lettuce—Nature, Problem, and Control. *Weeds*. 1967. Vol. 15, n° 1, pp. 5-9.

380.

WERKHOVEN, Marga CM et PEETERS, Geert MT. Aquatic macrophytes. In : *The Freshwater Ecosystems of Suriname*. Springer, 1993. pp. 99-112.

381.

WHIGHAM, Dennis F. Ecological issues related to wetland preservation, restoration, creation and assessment. *Science of the Total Environment*. 1999. Vol. 240, n° 1-3, pp. 31-40.

382.

WHITEMAN, J. B. et ROOM, P. M. Temperatures lethal to *Salvinia molesta* Mitchell. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1991. Vol. 40, n° 1, pp. 27-35. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(91\)90071-C](https://doi.org/10.1016/0304-3770(91)90071-C).

383.

WIEGLEB, Gerhard. Analysis of flora and vegetation in rivers: concepts and applications. In : *Vegetation of inland waters*. Springer, 1988. pp. 311-340.

384.

WIERSEMA, John H, NOVELO, Alejandro R et BONILLA-BARBOSA, Jaime R. Taxonomy and typification of *Nymphaea ampla* (Salisb.) DC. sensu lato (Nymphaeaceae). *Taxon*. 2008. Vol. 57, n° 3, pp. 967-974.

385.

WILLIAMS, Penny, BIGGS, Jeremy, FOX, Gill, NICOLET, Pascale et WHITFIELD, Merica. History, origins and importance of temporary ponds. . 2001.

386.

WILLIAMS, Penny, WHITFIELD, Mericia, BIGGS, Jeremy, BRAY, Simon, FOX, Gill, NICOLET, Pascale et SEAR, David.

387.

WILLIAMSON, Craig E, SAROS, Jasmine E, VINCENT, Warwick F et SMOL, John P. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. *Limnology and Oceanography*. 2009. Vol. 54, n° 6part2, pp. 2273-2282.

388.

WINTER, Thomas C. The vulnerability of wetlands to climate change: a hydrologic landscape perspective 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 2000. Vol. 36, n° 2, pp. 305-311.

389.

WOODWARD, Guy, PERKINS, Daniel M et BROWN, Lee E. Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2010. Vol. 365, n° 1549, pp. 2093-2106.

390.

XIE, Yonghong et YU, Dan. The significance of lateral roots in phosphorus (P) acquisition of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Aquatic Botany*. [en ligne]. 2003. Vol. 75, n° 4, pp. 311-321. DOI [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(03\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(03)00003-2).

391.

XU, Qiu-jin, NIAN, Yue-gang, JIN, Xiang-can, YAN, Chang-zhou, JIN, LIU et JIANG, Gao-ming. Effects of chitosan on growth of an aquatic plant (*Hydrilla verticillata*) in polluted waters with different chemical oxygen demands. *Journal of Environmental Sciences*. 2007. Vol. 19, n° 2, pp. 217-221.

392.

XU, Yaliang, MA, Shuai, HUANG, Meng, PENG, Ming, BOG, Manuela, SREE, K Sowjanya, APPENROTH, Klaus-J et ZHANG, Jiaming. Species distribution, genetic diversity and barcoding in the duckweed family (Lemnaceae). *Hydrobiologia*. 2015. Vol. 743, n° 1, pp. 75-87.

393.

YEO, RR, FALK, RH et THURSTON, JR. The morphology of hydrilla ((*Hydrilla verticillata*)(Lf) Royle). *Journal of Aquatic Plant Management*. 1984. Vol. 22, pp. 1-17.

394.

ZHANG, XF. Competitive interaction effects of *Hydrilla verticillata* and *Vallisneria natans* on phosphorus concentrations in water. *Procedia Environmental Sciences*. 2010. Vol. 2, pp. 636-642.

395.

ZHANG, Xiufeng et LIU, Zhengwen. Interspecific competition effects on phosphorus accumulation by *Hydrilla verticillata* and *Vallisneria natans*. *Journal of Environmental Sciences*. 2011. Vol. 23, n° 8, pp. 1274-1278.

396.

ZHAO, Kuiyi, HE, Shunping et LI, Wei. Studies on Wetland Biodiversity in China. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences (BCAS)*. 2010. Vol. 24, n° 4, pp. 248-256.

397.

ZOLTAI, SC et VITT, DH. Canadian wetlands : environmental gradients and classification. *Vegetatio*. 1995. Vol. 118, n° 1, pp. 131-137.

398.

ZOUAIDIA, Hanene, GÉRARD, DE BELAIR et SAMRAOUI, Boudjema. Biodiversité et écologie des mares temporaires de la numidie orientale, nord-est algérien : cas du complexe des mares gauthier. .

399.

Contents of Aquatic Botany, Volume 36. *Aquatic Botany*. [en ligne]. 1990. Vol. 36, n° 4, pp. 403-405. DOI [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(90\)90058-S](https://doi.org/10.1016/0304-3770(90)90058-S).

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Deux premiers niveaux hiérarchiques de la classification des habitats de milieux humides et aquatiques des Etats-Unis (Ménard et al, 2007, p.86)..... | 21 |
| Figure 2 : Typologie des milieux humides (Sajaloli, 1996, p.142)..... | 22 |
| Figure 3 : Typologie des milieux retenue par la convention de Ramsar, l'UICN et le programme Corine-biotope (SAjaloli, 1996, p.141)..... | 23 |
| Figure 4 : Les deux premiers niveaux hiérarchiques du système de classification des terres humides du Canada (Mébard et al., 2007, p.88)..... | 24 |
| Figure 5 : Zones du monde couvertes par des inventaires internationaux de milieux humides terminés (Finlayson et Van der Valk, 1995, p.189)..... | 26 |
| Figure 6 : Répartition géographique des principaux milieux humides dans le monde (Tiner, 2017, p.64)..... | 29 |
| Figure 7 : Milieux humides mondiales et régionales avec des inondations différentes régimes (Fluet-Chouinard et al., 2015)..... | 30 |
| Figure 8 : Pourcentage de la superficie mondiale des zones humides par région (Fluet-Chouinard et al., 2015)..... | 30 |
| Figure 9 : Schéma de l'estimation de la superficie potentielle des milieux humides dans le monde en 2009 (Hu et al., 2017)..... | 31 |
| Figure 10 : Répartition des milieux humides potentielles mondiales (Hu et al., 2017)..... | 32 |
| Figure 11 : Schéma de la formation des milieux humides, l'exemple de la région médio-atlantique des Etats-Unis (Tiner, 2017, p.67)..... | 33 |
| Figure 12 : Schéma de localisation des milieux humides sur un bassin versant..... | 34 |
| Figure 13 : Répartition géographique des bioclimats mondiaux basée sur la température et les pluies (Tiner, 2017, p.64)..... | 35 |
| Figure 14 : Caractéristiques hydrogéomorphologiques de divers types de milieux humides (Barnaud et Fustec, 2007, p.22)..... | 37 |
| Figure 15 : Les types de plantes aquatiques (Chaïb, 1997, p.17)..... | 44 |
| Figure 16 : Doline Causse du Larzac (Haut plateau karstique français du sud du Massif central qui s'étend entre Milau et Lodève)..... | 52 |
| Figure 17 : Doline cultivée dans la région de Cozina Slovénie..... | 52 |
| Figure 18 : Processus de formation des mares de thermokast sises sur une hutte minérale (Bégin, 2015)..... | 54 |
| Figure 19 : Un exemple de paysage du pergélisol avec des mares de fonte montrant la diversité des couleurs (Crevecoeur, 2016)..... | 55 |
| Figure 20 : Micor-mare cupulaires par l'érosion dans des blocs de roche dure ou des dalles rocheuses (Ernandes et Marchiori, 2013, p.58)..... | 55 |
| Figure 21 : Mare en état de comblement à Trinité Martinique 2019, Peguy Major©..... | 58 |
| Figure 22 : Mare village Picard (Hitier, 1903)..... | 60 |
| Figure 23 : Les quatre principaux types de matière organique (Oertli et Frossard, 2013)..... | 65 |
| Figure 24 : Processus d'atterrissement d'une mare ou d'un étang (Oertli et Frossard, 2013, p.211)..... | 66 |
| Figure 25 : Le cycle de l'eau et son moteur, l'énergie solaire (Source : Oertli et Frossard, 2013 p.29)..... | 67 |
| Figure 26 : Nombre d'étendues d'eau stagnante (mares, étangs ou lacs) en fonction de leur superficie (Source : Oertli et Frossard, 2013, p.5)..... | 70 |
| Figure 27 : Répartition des plantes aquatiques dans un écosystème d'eau stagnante (Source : Barbe, 1984, p.12)..... | 74 |
| Figure 28 : Carte du bassin de la Caraïbe..... | 82 |
| Figure 29 : Carte de la zone d'étude. Réalisée par Peguy Major..... | 83 |
| Figure 30 : Photo d'une savane arbustive à Saint-Anne quartier Crève-Coeur, 2022, Peguy Major© .. | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figure 31 : Aspect des savanes (Source : Demangeot, 2010, p.220) | 87 |
| Figure 32 : Carte Mares et relief réalisée par Peguy Major, 2022 | 88 |
| Figure 33 : Carte des types de sol de la Martinique adapté par Peguy Major pour la répartition des mares | 91 |
| Figure 34 : Carte de la répartition des mares selon la texture des sols adaptée de | 95 |
| Figure 35 : Répartition des mares dans les différents types de bioclimat de la Martinique (adaptée de Major, in Joseph, 2009, p.45) | 97 |
| Figure 36 : Carte des précipitations annuelles en 2021 (adaptée de Major in Météo France.mq)..... | 98 |
| Figure 37 : Carte de la pluviométrie annuelle en 2018 (données Météo France) | 99 |
| Figure 38 : Carte de la pluviométrie annuelle en 2019 (données Météo France) | 99 |
| Figure 39 : Carte de la pluviométrie annuelle en 2020 (données Météo France) | 100 |
| Figure 40 : Carte de la répartition des mares selon le réseau hydrographique de la Martinique | 102 |
| Figure 41 : Carte des mares inventoriées | 104 |
| Figure 42 : Situation géographique et emplacement des mares étudiées | 105 |
| Figure 43 : Photo de la mare Moulin l'Etang à Basse-Pointe (Peguy Major©,2018) | 109 |
| Figure 44 : Photo de la mare M5 à Schoelcher (Peguy Major©, 2018) | 110 |
| Figure 45 : Photo de la mare M à Schoelcher (Peguy Major©, 2020)..... | 110 |
| Figure 46 : Photo de la mare M7 à Schoelcher (Peguy Major©, 2021) | 111 |
| Figure 47 : Photo de la mare M7 à Schoelcher, (Peguy Major©, 2021) | 111 |
| Figure 48 : Photo de la mare M8 à Schoelcher (Peguy Major©, 2019) | 112 |
| Figure 49 : Photo de la mare M8, (Peguy Major©, 2021)..... | 112 |
| Figure 50 : Photo de la mare à Schoelcher (Peguy Major©, 2018) | 113 |
| Figure 51 : Photo de la mare M6 à Schoelcher, (Peguy Major©, 2020) | 113 |
| Figure 52 : Photo de la mare M13 aux Anses d'Arlet, (Peguy Major©, 2018) | 114 |
| Figure 53 : Photo de la mare aux Anses d'Arlet, (Peguy Major©, 2018)..... | 114 |
| Figure 54 : Photo de la mare aux Anses d'Arlet, (Peguy Major©, 2021)..... | 115 |
| Figure 55 : Photo de la mare M34 à Sainte-Anne, (Peguy Major©, 2020)..... | 115 |
| Figure 56 : Photo de la mare M35 à Sainte-Anne (Peguy Major©, 2020)..... | 116 |
| Figure 57 : Photo de la mare de Sainte-Luce, (Peguy Major©, 2021)..... | 116 |
| Figure 58 : Répartition géographique des espèces aquatiques et semi-aquatiques en Martinique (Réalisation : Peguy Major et Carl Lavau, 2022) | 120 |
| Figure 59 : Pistia stratiotes L. (Peguy Major©, 2022) | 121 |
| Figure 60 : Carte de la répartition mondiale de la Pistia Stratiotes L. | 121 |
| Figure 61 : Lemna polyrhiza (Peguy Major©, 2022) | 124 |
| Figure 62 : Carte de la répartition mondiale de la Lemna polyrhiza | 124 |
| Figure 63 : Salvinia molesta D.S. Mitch (Peguy Major©, 2022) | 126 |
| Figure 64 : Carte de la répartition mondiale de la Salvinia molesta D.S. Mitch | 126 |
| Figure 65 : Forme de croissance primaire de la Salvinia molesta D.S. Mitch (Peguy Major©, 2019)..... | 127 |
| Figure 66 : Forme de croissance secondaire de la Salvinia Molesta D.S. Mitch (Peguy Major ©, 2019) | 128 |
| Figure 67 : Forme de croissance tertiaire de la Salvinia molesta D.S. Mitch (Peguy Major©, 2019)..... | 128 |
| Figure 68 : Eichhornia crassipes (Peguy Major©, 2019)..... | 130 |
| Figure 69 : Carte de la répartition mondiale de l'espèce Eichhornia crassipes..... | 130 |
| Figure 70 : Racines de l'Eichhornia crassipes (Peguy Major©, 2019)..... | 132 |
| Figure 71 : Hydrilla verticillata (Peguy Major©, 2019) | 134 |
| Figure 72 : Carte de la répartition spatiale de l'espèce Hydrilla verticillita | 134 |
| Figure 73 : Nymphaea ampla (Peguy Major©, 2019)..... | 138 |
| Figure 74 : Distribution de la Nymphaea ampla et de Nymphaea pulchella dans la Caraïbe (Wiersema et al., p.967-974) | 138 |

| | |
|---|-----|
| Figure 75 : <i>Cyperus papyrus</i> (Peguy Major©, 2019)..... | 140 |
| Figure 76 : Carte de la répartition de l'espèce <i>Cyperus papyrus</i> | 140 |
| Figure 77 : <i>Micranthemum umbrosum</i> (Peguy Major©, 2019)..... | 142 |
| Figure 78 : <i>Micranthemum umbrosum</i> rampant sur le sol humide (Peguy Major©, 2019)..... | 142 |
| Figure 79 : Cartographie IGN 1/50 000 ème..... | 146 |
| Figure 80 : Cartographie pat plan IGN v2..... | 147 |
| Figure 81 : Cartographie par photographies aériennes montrant deux surafce d'eau de couleur marron clair (mares)..... | 149 |
| Figure 82 : Cartographie par photographies aériennes..... | 149 |
| Figure 83 : GPS | 151 |
| Figure 84 : Tableau des données des localisations géographiques | 151 |
| Figure 85 : Mare de la commune de Schoelcher (novembre 2018) ©Peguy Major | 152 |
| Figure 86 : Mare de la commune de Schoelcher (avril 2021) ©Peguy Major..... | 153 |
| Figure 87 : Mare de la commune des Anses d'Arlet (novembre 2018) ©Peguy Major | 153 |
| Figure 88 : Mare de la commune des Anses d'Arlet (Juin 2021) ©Peguy Major | 154 |
| Figure 89 : pH-mètre (Digital Instrument PH-208©) | 155 |
| Figure 90 : Conductimètre..... | 155 |
| Figure 91 : Phase 1 (2021) | 156 |
| Figure 92 : Phase 2 (2021) | 156 |
| Figure 93 : Phase 3 (2019) | 157 |
| Figure 94 : Localisation des mares à Basse-Pointe (dalle 4502) | 161 |
| Figure 95 : Localisation des mares à Trinité et au Robert (dalle 4511) | 162 |
| Figure 96 : Localisation des mares à Schoelcher et à Case-Pilote (dalle 4513) | 162 |
| Figure 97 : Localisation des mares à Fort-de-France et au Lamentin (dalle 4514) | 163 |
| Figure 98 : Localisation des mares au François et au Robert (dalle 4516) | 163 |
| Figure 99 : Localisation des mares aux Anses d'Arlet, au Diamant et à Rivière-Salée (dalle 4517) .. | 164 |
| Figure 100 : Localisation des mares à Ducos, au Saint-Esprit, à Rivière-Salée et à Sainte-Luce (dalle 4518)..... | 164 |
| Figure 101 : Localisation des mares au Vauclin, François, Rivière-Salée et au Marin (dalle 4519)... | 165 |
| Figure 102 : Localisation des mares aux Anses d'Arlet et au Diamant (dalle 4520)..... | 165 |
| Figure 103 : Localisation des mares au Diamant et à Sainte-Luce (dalle 4521) | 166 |
| Figure 104 : Localisation des mares à Sainte-Luce, Rivière-Pilote, Le Marin et Sainte-Anne (dalle 4522)..... | 166 |
| Figure 105 : Localisation des mares à Sainte-Anne (dalle 4523) | 167 |
| Figure 106 : Cartographie des mares en 1950 | 167 |
| Figure 107 : Atlas des mares selon la carte de 1950..... | 169 |
| Figure 108 ; Cartographie des mares selon la carte plan IGN v2 en 2017 | 169 |
| Figure 109 : Localisation des mares d'après la photographie aérienne (réalisation Peguy Major)..... | 170 |
| Figure 110 : Localisation de la mare Capron présente en 1950..... | 170 |
| Figure 111 : Mare Capron disparue en 2017 | 171 |
| Figure 112 : Localisation des mares dans la ville de Schoelcher en 1950 | 171 |
| Figure 113 : Localisation des mares dans la ville de Schoelcher en 2017 | 171 |
| Figure 114 : Graphique du nombre de mares sur l'île en 1950..... | 172 |
| Figure 115 : Nombre de mares en pourcentage en 1950..... | 172 |
| Figure 116 : Graphique du nombre de mares en fonction de la superficie (en m2)..... | 174 |
| Figure 117 : Pourcentage de la superficie des mares | 175 |
| Figure 118 : Cartographie des superficies des mares en Martinique en 2017 | 175 |
| Figure 119 : Graphique de la répartition de la superficie des mares par classe en 2017..... | 176 |
| Figure 120 : Graphique de la superficie des mares en 2017..... | 176 |

| | |
|--|-----|
| Figure 121 : Graphique de la superficie des mares par classe | 177 |
| Figure 122 : Graphique de la superficie des mares | 177 |
| Figure 123 : Carte des types de mares | 178 |
| Figure 124 : Graphique des types de mares..... | 180 |
| Figure 125 : Graphique de la distribution spatiale des types de mares | 180 |
| Figure 126 : Echantillon des mares sélectionnées | 181 |
| Figure 127 : Graphique de l'évolution des précipitations annuelles des stations de Macouba et de Basse-Pointe..... | 182 |
| Figure 128 : Graphique de l'évolution des précipitations annuelles de la station de Sainte-Anne | 183 |
| Figure 129 : Graphique de l'évolution des précipitations mensuelles de la station de Sainte-Anne en 2021 | 184 |
| Figure 130 : Pluviométrie mensuelle de la commune de Sainte-Anne en 2021 | 184 |
| Figure 131: Graphique de l'évolution du niveau d'eau des mares échantillonnées pendant la période du carême et de l'hivernage..... | 185 |
| Figure 132 : Graphique de la superficie des 10 mares | 185 |
| Figure 133 : Graphique de l'évolution du niveau d'eau du suivi des mares échantillonnées pendant la période du carême et de l'hivernage en 2021..... | 186 |
| Figure 134 : Photo de la mare 7 au 14/04/2021 (Peguy Major©)..... | 186 |
| Figure 135 : Photo de la mares M7 au 10/06/2021 (Peguy Major©)..... | 187 |
| Figure 136 : Photo de la mare M13 au 13/01/2019 (Peguy Major©) | 187 |
| Figure 137 : Photo de la mare M13 au 07/04/2019 (Peguy Major©) | 188 |
| Figure 138 : Carte du statut des mares | 189 |
| Figure 139 : Photo de la mare M8 à Schoelcher au 05/05/2019 (Peguy Major©)..... | 190 |
| Figure 140 : Photo de la mare M8 de Schoelcher au 06/03/2021 (Peguy Major©)..... | 190 |
| Figure 141 : Panneau présentant les travaux de restauration de la mare 6 à Schoelcher 05/08/2019 (Peguy Major©)..... | 191 |
| Figure 142 : Photo avant restauration mare M6 (Peguy Major©) | 191 |
| Figure 143 : Photo après restauration mare M6 06/03/2021 (Peguy Major©) | 191 |
| Figure 144 : Photo de la mare forestière sans végétation aux Anses d'Arlet 20/01/2019 (Peguy Major©) | 192 |
| Figure 145 : Photo de la mare forestière avec végétation aux Anses d'Arlet 23/09/2018 (Peguy Major©) | 192 |
| Figure 146 : Mare de Trinité La caravelle vue le 17/03/2019 (Peguy Major)..... | 193 |
| Figure 147 : Mare de Schoelcher vue le 18/05/2019 (Peguy Major)..... | 193 |
| Figure 148 : Mare M14 vue le 16/07/2018 (Peguy Major©) | 194 |
| Figure 149 : Mare M14 vue le 13/04/2021 (Peguy Major©) | 194 |
| Figure 150 : Mare M5 vue le 21/10/2021 (Peguy Major©) | 195 |
| Figure 151 : Mare M13 vue le 12/06/2021 (Peguy Major©) | 195 |
| Figure 152 : Photo d'une mare de savane à Sainte-Anne au 30/12/2019 (Peguy Major©) | 197 |
| Figure 153 : Photo d'une mare forestière (M 34) au 30/12/2019 (Peguy Major©)..... | 197 |
| Figure 154 : Photo montrant une poule d'eau sur la mare M2..... | 198 |
| Figure 155 : Répartition des espèces de la mare 1 | 208 |
| Figure 156 : Répartition des espèces dans la mare 2 | 209 |
| Figure 157 : Répartition des espèces dans la mare 3 | 209 |
| Figure 158 : Répartition des espèces dans la mare 4 | 209 |
| Figure 159 : Répartition des espèces dans la mare 5 | 210 |
| Figure 160 : Répartition des espèces dans la mare 8 | 210 |
| Figure 161 : Répartition des espèces dans la mare 9 | 210 |
| Figure 162 : Répartition des espèces dans la mare 10 | 211 |

| | |
|--|-----|
| Figure 163 : Répartition des espèces dans la mare 11 | 211 |
| Figure 164 : Répartition des espèces dans la mare 14 | 211 |
| Figure 165 : Répartition des espèces dans la mare 15 | 212 |
| Figure 166 : Répartition des espèces dans la mare 17 | 212 |
| Figure 167 : Répartition des espèces dans la mare 18 | 212 |
| Figure 168 : Répartition des espèces dans la mare 20 | 213 |
| Figure 169 : Répartition des espèces dans la mare 21 | 213 |
| Figure 170 : Répartition des espèces dans la mare 22 | 213 |
| Figure 171 : Répartition des espèces dans la mare 23 | 214 |
| Figure 172 : Compétition interspécifique dans la mare Moulin l'Etang, Mai 2021, Peguy Major© ... | 216 |
| Figure 173 : Compétition interspécifique dans la mare Moulin l'Etang, 2021, Peguy Major© | 216 |
| Figure 174 : Compétition interspécifique dans la mare Moulin l'Etang, 2021, Peguy Major© | 216 |
| Figure 175 : Répartition des espèces aquatiques dans les mares (Première prospection)..... | 217 |
| Figure 176 : Spectre biologique des espèces aquatiques..... | 219 |
| Figure 177 : Type biologique | 220 |
| Figure 178 : Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des espèces des 18 mares. | 221 |
| Figure 179 : AFC 1 | 222 |
| Figure 180 : AFC 2..... | 222 |
| Figure 181 : AFC 3..... | 224 |
| Figure 182 : Carte de la répartition géographique des mares en 1950..... | 227 |
| Figure 183 : <i>Cartographie</i> de la répartition des mares en 2017..... | 227 |
| Figure 184 : Carte de la répartition des mares d'aujourd'hui | 228 |
| Figure 185 : Carte de la répartition des mares sur le terrain..... | 228 |
| Figure 186 : Mare en cours d'assèchement..... | 232 |
| Figure 187 : Mare en cours de comblement et envahie par la végétation | 233 |
| Figure 188 : Le processus de l'eutrophisation selon les apports en nutriments..... | 234 |
| Figure 189 : Exemple d'une mare forestière ne présentant en apparence des plantes aquatiques | 234 |
| Figure 190 : Exemple d'une mare forestière présentant une algue filamenteuse..... | 235 |
| Figure 191 : Exemple d'une mare de savane comblée par des sédiments | 235 |
| Figure 192 : Mare envahie par une espèce invasive | 237 |
| Figure 193: Pistia stratiotes s'adaptant sur le pourtour de la mare | 239 |
| Figure 194: Pistia stratiotes s'adaptant sur le pourtour de la mare | 240 |
| Figure 195 : Localisation de la Mare M2 en 1950..... | 241 |
| Figure 196 : La mare de Moulin l'Etang | 241 |
| Figure 197 : Principale gestion des mares p.144 | 244 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| Tableau 1: Typologie des milieux humides de la Martinique (Gayot et Laval, 2006, p.12)..... | 25 |
| Tableau 2 : Caractéristiques utilisées pour classer les milieux humides (Tiner, 2017, p.442)..... | 26 |
| Tableau 3 : Superficie des milieux humides par grandes régions (Fraser et Keddy, 2005, p.449)..... | 28 |
| Tableau 4 : Pertes en pourcentage des milieux humides dans certaines zones du monde (Mitsch et Gosselink, 2015, p.50) | 36 |
| Tableau 5 : Caractéristiques hydrogéomorphologiques de différents types de milieux humides (Barnaud et Fustec, 2007, p.23-24)..... | 38 |
| Tableau 6 : Les grands végétaux aquatiques | 45 |
| Tableau 7 : Liste non exhaustive des types de mares (Oertli et Frossard, 2013)..... | 60 |
| Tableau 8 : Les sept types de mares (Oertli et Frossard, 2013 p.221) | 61 |
| Tableau 9 : Les types de matières organiques (Oertli et Frossard, 2013) | 66 |
| Tableau 10 : Modes principaux d'alimentation (Source : Oertli et Frossard, 2013, p.32)..... | 68 |
| Tableau 11 : Principales formations géologiques en Martinique..... | 92 |
| Tableau 12 : Les mares du Nord..... | 106 |
| Tableau 13 : Les mares du Sud..... | 107 |
| Tableau 14 : La végétation aquatique dans les mares martiniquaises..... | 117 |
| Tableau 15 : Espèces observés durant le cadre de notre étude de 2018 à 2020..... | 118 |
| Tableau 16 : Des coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet | 158 |
| Tableau 17 : Distribution spatiale des mares en Martinique d'après la carte IGN de 1950..... | 161 |
| Tableau 18 : Répartition de la superficie des mares par classe | 173 |
| Tableau 19 : Nombre de mares par dalles en fonction de la superficie..... | 174 |
| Tableau 20 : Répartition de la superficie des mares en 2017 | 176 |
| Tableau 21 : Répartition de la superficie des mares selon la photographie aérienne..... | 177 |
| Tableau 22 : Inventaire des 42 mares..... | 179 |
| Tableau 23 : Précipitations mensuelles en mm des Stations de Macouba (2018) et de Basse-Pointe (2019 et 2020) | 182 |
| Tableau 24: Précipitations mensuelles en mm de la station de Sainte-Anne (2018,2019 et 2020) | 183 |
| Tableau 25 : Précipitations mensuelles de la station de Sainte-Anne pour l'année 2021..... | 184 |
| Tableau 26 : Niveau d'eau des mares échantillonnées | 185 |
| Tableau 27 : Données géomorphologiques des 10 mares échantillonnées..... | 188 |
| Tableau 28 : Des paramètres mésologiques des 10 mares en 2021 | 189 |
| Tableau 29 : Liste des espèces rencontrées dans les mares..... | 202 |
| Tableau 30 : Relevé floristique (2018-2019) – Première prospection | 203 |
| Tableau 31 : Relevé floristique (2020-2021) – Deuxième prospection | 204 |
| Tableau 32 : Taux de recouvrement (Première prospection) | 207 |
| Tableau 33 : Table de correspondance entre le code d'abondance-dominance (AD code), l'indice quantitatif d'abondance (AD num.) et le recouvrement moyen, minimum et maximum | 217 |
| Tableau 34 : Les types biologiques..... | 218 |
| Tableau 35 : Spectre biologique | 218 |
| Tableau 36 : Répartition des types d'hydrophytes | 220 |
| Tableau 37 : Liste des espèces recensées dans les mares..... | 221 |

Table des matières

| | |
|--------------------|---|
| REMERCIEMENTS..... | 1 |
|--------------------|---|

| | |
|--|----|
| SOMMAIRE | 2 |
| RÉSUMÉ..... | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| LISTE DES ABRÉVIATIONS | 5 |
| INTRODUCTION | 6 |
| | 11 |
| PARTIE I : ÉTAT DES CONNAISSANCES | 11 |
| CHAPITRE 1 : LES MILIEUX HUMIDES | 12 |
| 1.1 Définitions des milieux humides..... | 12 |
| 1.2 Typologie et inventaire des milieux humides | 19 |
| 1.3 Méthode des inventaires des milieux humides..... | 25 |
| 1.4 Distribution spatiale des milieux humides | 28 |
| 1.4.1 Répartition géographique à l'échelle mondiale..... | 28 |
| 1.4.2 Répartition géographique potentielle des milieux humides | 31 |
| 1.4.3 Répartition géomorphologique..... | 32 |
| 1.4.4 Répartition selon les domaines climatiques | 34 |
| 1.4.5 Pertes mondiales des milieux humides | 35 |
| 1.5 Caractéristiques hydrogéomorphologiques des milieux humides..... | 37 |
| 1.5.1 Caractéristiques géomorphologiques..... | 37 |
| 1.5.2 Caractéristiques hydrologiques | 38 |
| 1.6 Les plantes aquatiques des milieux humides | 39 |
| 1.6.1 Définitions | 40 |
| 1.6.2 Les principaux types de répartition | 42 |
| 1.6.3 Les types des plantes des milieux humides..... | 43 |
| 1.6.3.1 Les plantes émergentes..... | 44 |
| 1.6.4 La diversité floristique..... | 45 |
| 1.6.5 Les plantes invasives aquatiques..... | 46 |
| CHAPITRE 2 : UN TYPE DE MILIEU HUMIDE : LA MARE | 48 |
| 2.1 Définitions | 48 |
| 2.2 Origines, formations et usages | 49 |
| 2.2.1 Origines naturelles..... | 49 |
| 2.2.2 Origines anthropiques..... | 56 |
| 2.2.3 Usages des mares | 56 |
| 2.3 Types et rôles des mares | 60 |
| 2.3.1 Typologie des mares..... | 60 |
| 2.3.2 Ecologie des mares..... | 63 |
| 2.4 Dynamique morphologique et hydrologique de la mare | 64 |

| | |
|---|-----|
| 2.4.1 Biogéographie et biophysico-chimique | 64 |
| 2.4.2 Le régime hydrique | 67 |
| 2.5 Un écosystème peu étudié | 68 |
| 2.5.1 Des biotopes aquatiques temporaire et permanente..... | 68 |
| 2.5.2 Cartographie et photographie aérienne..... | 69 |
| 2.5.3 Inventaires des écosystèmes lentiqes..... | 69 |
| 2.6 Les espèces végétales propre à la mare | 70 |
| 2.6.1 Les facteurs abiotiques et biotiques..... | 70 |
| 2.6.2 La différentes compétitions entre les espèces | 74 |
| 2.7 Menaces et enjeux de préservation mares | 76 |
| 2.7.1 Un écosystème lentique menacé à préserver ? | 76 |
| 2.7.2 Gestion de ce biotope aquatique..... | 78 |
| PARTIE II : MATÉRIEL ET MÉTHODE | 81 |
| CHAPITRE 3 : MATÉRIEL | 82 |
| 3.1 Territoire d'étude : La Martinique | 82 |
| 3.2 Relief et Paysages..... | 84 |
| 3.2.1 Les paysages du Nord..... | 84 |
| 3.2.2 Les paysages du Sud..... | 85 |
| 3.2.3 Les mares dans le paysage | 85 |
| 3.3 Les systèmes édaphiques (les sols) | 89 |
| 3.3.1 Types des sols | 89 |
| 3.3.2 Texture des sols des mares..... | 93 |
| 3.4 Les facteurs climatiques | 96 |
| 3.5 Le réseau hydrographique..... | 101 |
| 3.6 Étude des mares anthropisées en milieu insulaire | 103 |
| 3.6.1 Situation géographique et présentation générale des mares anthropisées de la Martinique.... | 103 |
| 3.6.2 Les mares du Nord | 109 |
| 3.6.3 Les mares du Sud | 114 |
| 3.7 La végétation aquatique dans les mares martiniquaises | 117 |
| 3.7.1 Les hydrophytes libres nageants | 121 |
| 3.7.1.1 <i>La Pistia stratiotes L.</i> | 121 |
| 3.7.1.2 <i>La Lemna polyrhiza</i> | 124 |
| 3.7.1.3 <i>La Salvinia molesta D. S. Mitch.</i> | 126 |
| 3.7.2 Les hydrophytes fixées avec feuilles flottantes | 130 |
| 3.7.2.1 <i>L'Eichhornia crassipes</i> | 130 |
| 3.7.2.2 <i>L'hydrilla verticillita</i> | 134 |
| 3.7.2.3 <i>La Nymphaea ampla</i> | 138 |

| | |
|---|-----|
| 3.7.3. Les végétaux herbacés amphibies (hélrophyte) | 140 |
| 3.7.31 Le <i>Cyperus papyrus</i> | 140 |
| 3.7.4 Les hydrophytes fixées avec feuilles immergées : Le <i>Micranthemum umbrosum</i> | 142 |
| CHAPITRE 4 : MÉTHODE | 143 |
| 4.1 Modes d'investigation..... | 143 |
| 4.2 Limites de la méthodologie existante | 144 |
| 4.2.1 Le rapport d'étude de 2006 | 144 |
| 4.2.2 Le rapport d'étude de 2015 | 144 |
| 4.3 Méthodologie d'acquisition des données | 145 |
| 4.3.1 La carte topographique IGN de 1950 | 145 |
| 4.3.2 La photographie aérienne flux WMS-IGN | 147 |
| 4.4 Inventaires de terrain..... | 150 |
| 4.5 Inventaire et suivi de la flore aquatique..... | 157 |
| 4.6 Traitement et analyse des données | 158 |
| PARTIE III : RÉSULTATS | 159 |
| CHAPITRE 5 : RÉSULTATS..... | 160 |
| 5.1 Cartographies à l'échelle de la zone d'étude..... | 160 |
| 5.1.1 Localisation des mares | 160 |
| 5.1.2 Répartition et superficie selon la zone géographique | 173 |
| 5.2 Prospection de terrain..... | 178 |
| 5.2.1 Inventaire de terrain des mares | 178 |
| 5.2.3 Dynamique du fonctionnement des mares | 181 |
| 5.2.4 Analyse des résultats sur le terrain..... | 196 |
| 5.3 Inventaire des espèces végétales aquatiques | 201 |
| 5.3.1 Le recouvrement des espèces dans les mares..... | 207 |
| PARTIE IV : DISCUSSION | 224 |
| CHAPITRE 6 : DISCUSSION | 226 |
| 6.1 Typiques des mares en insularité géographique | 226 |
| 6.1.2 L'évolution des écosystèmes lentiques de 1950 à nos jours | 226 |
| 6.1.3 Limites du protocole de recherche | 230 |
| 6.1.4 Paramètres biotiques et abiotiques caractérisant les mares..... | 231 |
| 6.2 Distribution des végétaux aquatiques..... | 237 |
| 6.2.1 Richesse et composition floristique..... | 237 |
| 6.2.2 Un exemple de mare envahie par des espèces exotiques envahissantes | 240 |
| 6.3 Gestion pour la préservation et la restauration des mares..... | 242 |
| 6.3.1 Un biotope écologique hors du commun | 242 |
| 6.3.2 Influence potentielle du changement climatique sur les mares aux Antilles | 243 |

| | |
|---|-----|
| 6.3.3 La nécessité de restaurer les mares..... | 244 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... | 246 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 251 |
| LISTE DES FIGURES..... | 285 |
| LISTE DES TABLEAUX..... | 290 |
| TABLE DES ANNEXES..... | 294 |
| ANNEXE 1 : FICHE DE TERRAIN VIERGE..... | 295 |
| ANNEXE 2 : FICHE DE TERRAIN MARE AJOUPA BOUILLON..... | 296 |
| ANNEXE 3 : FICHE DE TERRAIN MARE SAINTE-ANNE..... | 299 |
| ANNEXE 4 : FICHE DE TERRAIN MARE TRINITE..... | 300 |
| ANNEXE 5 : GRAPHIQUES DES SUPERFICIES DES MARES EN 1950 PAR DALLES..... | 302 |
| ANNEXE 6 : LISTE DES ESPECES EXOTIQUES ENAHISSANTES PRÉOCUPPANTES..... | 309 |
| ANNEXE 7 : DIRECTIVE DES OISEAUX..... | 310 |
| ANNEXE 8 A : LES 10 MARES SELECTIONNEES..... | 317 |
| ANNEXE 10 : LES ESPECES VEGETALES AQUATIQUES..... | 319 |
| ANNEXE 11 A : PLANCHE DES DALLES 4502 ET 4511 A 4517..... | 320 |
| ANNEXE 11 B : PLANCHE DES DALLES DE 4518 A 4523..... | 321 |
| INDEX DES AUTEURS..... | 322 |

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : FICHE DE TERRAIN VIERGE

| | |
|--|--|
| Date : | N° de mare : |
| Commune : Type de propriété : <input type="checkbox"/> public <input type="checkbox"/> privé <input type="checkbox"/> mixte <input type="checkbox"/> inconnu | Coordonnées GPS Latitude : Longitude : Projection : WGS 84 |
| Type de mare : <input type="checkbox"/> savane <input type="checkbox"/> forêt <input type="checkbox"/> bord de route <input type="checkbox"/> carrière | Présence de végétation aquatique : (sous ou à la surface de l'eau) : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non |
| La mare est visible sur une carte : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non | Facteurs physico-chimiques : T°C : PH : Conductivité :. |

Caractéristiques de la mare (superficie <5000 m²)

Géographie

Topographie : plateau versant morne ou plaine

Physionomie

Forme : angulaire circulaire complexe

Taille : superficie : m²

Niveau d'eau maximum observée visuellement :

0 % mare sèche 25 % peu rempli 50 % à moitié rempli 100 %
totalement rempli

Nature du fond de la mare : matériau naturel béton bâche autre :
..... indéterminé

Hydrologie :

Alimentation principale :

précipitations et ruissellement superficiel fossés de collectes d'eau buse,
canalisation réseau enterré de drainage agricole autres :

.....

Turbidité de l'eau : limpide trouble

Usage(s) observé(s) de la mare :

abreuvoir ornemental patrimoine culturel / paysager pédagogique
inconnu

Menaces

- atterrissement comblement naturel pollution organique (déjections, débris de végétaux)
 pollution chimique

Ecologie

Recouvrement de la végétation aquatique sur la surface de la mare

Espèce végétale exotique envahissante observée (aquatique) :

- **Hydrophytes libres à feuille flottantes ou nageantes**

- ✓ *Lemna polyrhiza* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Pistia stratiotes* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Salvinia molesta* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

- **Hydrophytes fixées à feuilles flottantes ou submergées**

- ✓ *Eichhornia crassipes* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Hydrilla verticillata* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Micranthemum umbrosum* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Nymphaea ampla* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

- **Hélophyte**

- ✓ *Cyperus papyrus* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

ANNEXE 2 : FICHE DE TERRAIN MARE AJOUPA BOUILLON

FICHE DE TERRAIN

| | |
|---|---|
| Date : Janvier 2020 | N° de mare : 1 |
| Commune : Ajoupa-Bouillon Type de propriété : <input type="checkbox"/> public <input checked="" type="checkbox"/> privé <input type="checkbox"/> mixte <input type="checkbox"/> inconnu | Coordonnées GPS Latitude : Longitude : Projection : WGS 84 |
| Type de mare : <input type="checkbox"/> savane <input checked="" type="checkbox"/> forêt <input type="checkbox"/> bord de route <input type="checkbox"/> carrière | Présence de végétation aquatique : (sous ou à la surface de l'eau) : <input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non |
| La mare est visible sur une carte : <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non | Facteurs physico-chimiques : T°C : PH : Conductivité :. |

Caractéristiques de la mare (superficie <5000 m²)

Géographie

Topographie : plaine morne ou colline

Physionomie

Forme : angulaire circulaire complexe

Taille : superficie : .NC m²

Niveau d'eau maximum observée visuellement :

0 % mare sèche 25 % peu rempli 50 % à moitié rempli 100 %
totalement rempli

Nature du fond de la mare : matériau naturel béton bâche autre :
..... indéterminé

Hydrologie :

Alimentation principale :

précipitations et ruissellement superficiel fossés de collectes d'eau buse,
canalisation réseau enterré de drainage agricole autres :
.....

Turbidité de l'eau : limpide trouble

Usage(s) observé(s) de la mare :

abreuvoir ornemental patrimoine culturel / paysager pédagogique
inconnu

Menaces

- atterrissement comblement naturel pollution organique (déjections, débris de végétaux)
 pollution chimique

Ecologie

Recouvrement de la végétation aquatique sur la surface de la mare

Espèce végétale exotique envahissante observée (aquatique) :

- **Hydrophytes libres à feuille flottantes ou nageantes**

- ✓ *Lemna polyrhiza* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Pistia stratiotes* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Salvinia molesta* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

- **Hydrophytes fixées à feuilles flottantes ou submergées**

- ✓ *Eichhornia crassipes* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Hydrilla verticillata* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Micranthemum umbrosum* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Nymphaea ampla* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

- **Hélophyte**

- ✓ *Cyperus papyrus* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

ANNEXE 3 : FICHE DE TERRAIN MARE SAINTE-ANNE

| | |
|---|---|
| Date : Décembre 2020 | N° de mare : 34 |
| Commune : Type de propriété : <input type="checkbox"/> public <input checked="" type="checkbox"/> privé <input type="checkbox"/> mixte <input type="checkbox"/> inconnu | Coordonnées GPS Latitude : Longitude : Projection : WGS 84 |
| Type de mare : <input type="checkbox"/> savane <input checked="" type="checkbox"/> forêt <input type="checkbox"/> bord de route <input type="checkbox"/> carrière | Présence de végétation aquatique : (sous ou à la surface de l'eau) : <input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non |
| La mare est visible sur une carte : <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non | |

Caractéristiques de la mare (superficie <5000 m²)

Géographie

Topographie : plaine morne ou colline

Physionomie

Forme : angulaire circulaire complexe

Taille : superficie : NC m²

Hauteur d'eau maximum observée visuellement :

0 % mare sèche 25 % peu rempli 50 % à moitié rempli 100 % totalement rempli

Nature du fond de la mare : matériau naturel béton bâche autre :
..... indéterminé

Hydrologie :

Alimentation principale :

précipitations et ruissellement superficiel fossés de collectes d'eau buse, canalisation réseau enterré de drainage agricole autres :
.....

Turbidité de l'eau : limpide trouble

Usage(s) observé(s) de la mare :

abreuvoir ornemental patrimoine culturel / paysager pédagogique
 inconnu

Menaces

- atterrissement comblement naturel pollution organique (déjections, débris de végétaux)
 pollution chimique

Ecologie

Recouvrement de la végétation aquatique sur la surface de la mare

Espèce végétale exotique envahissante observée (aquatique) :

- **Hydrophytes libres à feuille flottantes ou nageantes**

- ✓ Lemna polyrhiza < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ Pistia stratiotes < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ Salvinia molesta) < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

- **Hydrophytes fixées à feuilles flottantes ou submergées**

- ✓ Eichhornia crassipes < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ Hydrilla verticillata < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ Micranthemum umbrosum) < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ Nymphaea ampla) < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

- **Hélophyte**

- ✓ Cyperus papyrus) < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

ANNEXE 4 : FICHE DE TERRAIN MARE TRINITE

FICHE DE TERRAIN

| | |
|---|---|
| Date : | N° de mare : |
| Commune : TRINITE Type de propriété : <input checked="" type="checkbox"/> public <input type="checkbox"/> privé <input type="checkbox"/> mixte <input type="checkbox"/> inconnu | Coordonnées GPS Latitude : 728411 Longitude : 1633505 Projection : WGS 84 |
| Type de mare : <input type="checkbox"/> savane <input checked="" type="checkbox"/> forêt <input type="checkbox"/> bord de route <input type="checkbox"/> carrière | Présence de végétation aquatique : (sous ou à la surface de l'eau) : <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non |
| La mare est visible sur une carte : <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non | Facteurs physico-chimiques : T°C : PH : Conductivité : |

Caractéristiques de la mare (superficie <5000 m²)

Géographie

Topographie : plaine morne ou colline

Physionomie

Forme : angulaire circulaire complexe

Taille : superficie : m²

Niveau d'eau maximum observée visuellement :

0 % mare sèche 25 % peu rempli 50 % à moitié rempli 100 % totalement rempli

Nature du fond de la mare : matériau naturel béton bâche autre :
..... indéterminé

Hydrologie :

Alimentation principale :

précipitations et ruissellement superficiel fossés de collectes d'eau buse, canalisation réseau enterré de drainage agricole autres :

.....

Turbidité de l'eau : limpide trouble

Usage(s) observé(s) de la mare :

abreuvoir ornemental patrimoine culturel / paysager pédagogique inconnu

Menaces

- atterrissement comblement naturel pollution organique (déjections, débris de végétaux)
 pollution chimique

Ecologie

Recouvrement de la végétation aquatique sur la surface de la mare

Espèce végétale exotique envahissante observée (aquatique) :

- **Hydrophytes libres à feuille flottantes ou nageantes**

- ✓ *Lemna polyrhiza* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Pistia stratiotes* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Salvinia molesta* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

- **Hydrophytes fixées à feuilles flottantes ou submergées**

- ✓ *Eichhornia crassipes* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Hydrilla verticillata* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Micranthemum umbrosum* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%
- ✓ *Nymphaea ampla* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

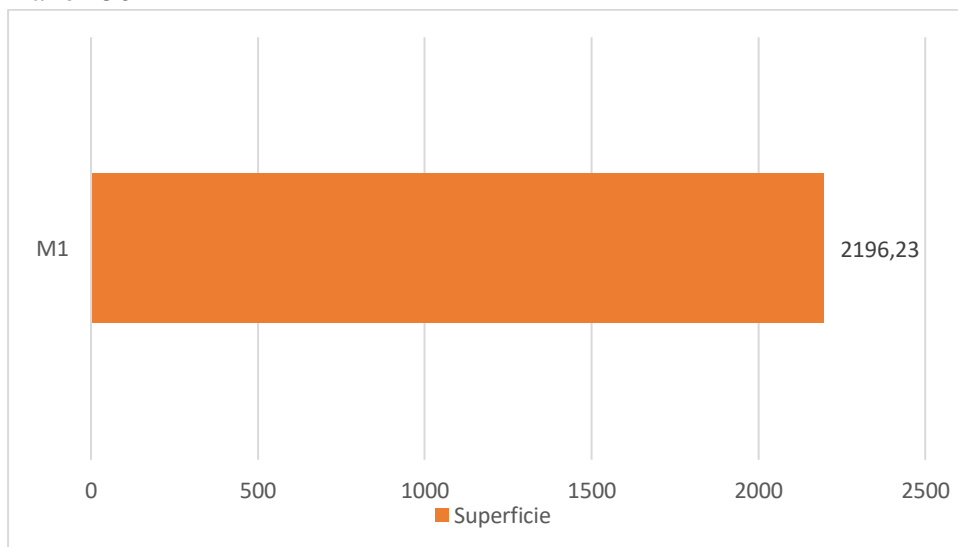
- **Hélophyte**

- ✓ *Cyperus papyrus* < 1% 1 à 5% 5 à 25% 25 à 50% 50 à 75% 75 à 100%

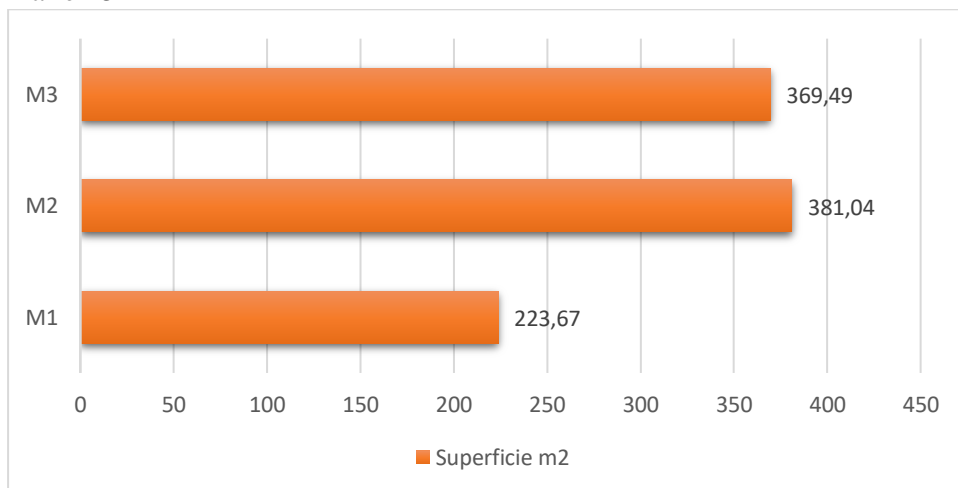
ANNEXE 5 : GRAPHIQUES DES SUPERFICIES DES MARES EN 1950 PAR

DALLES

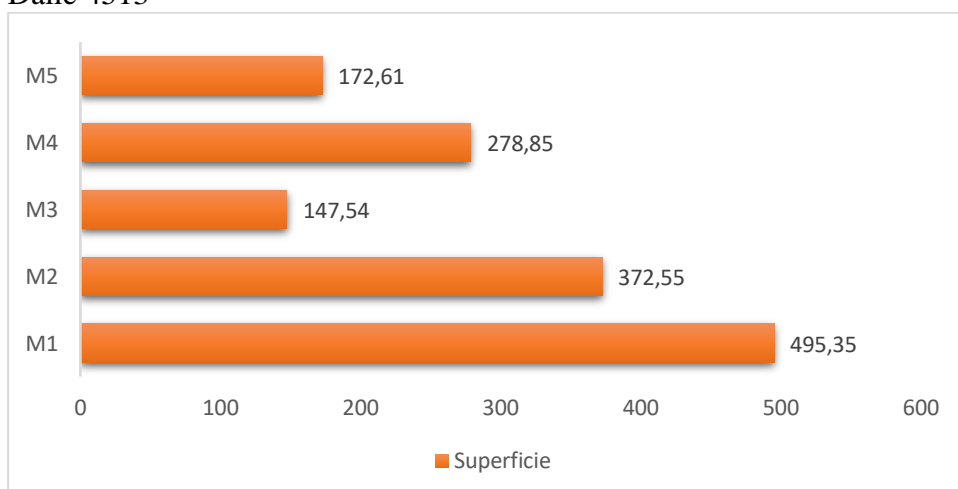
Dalle 4502



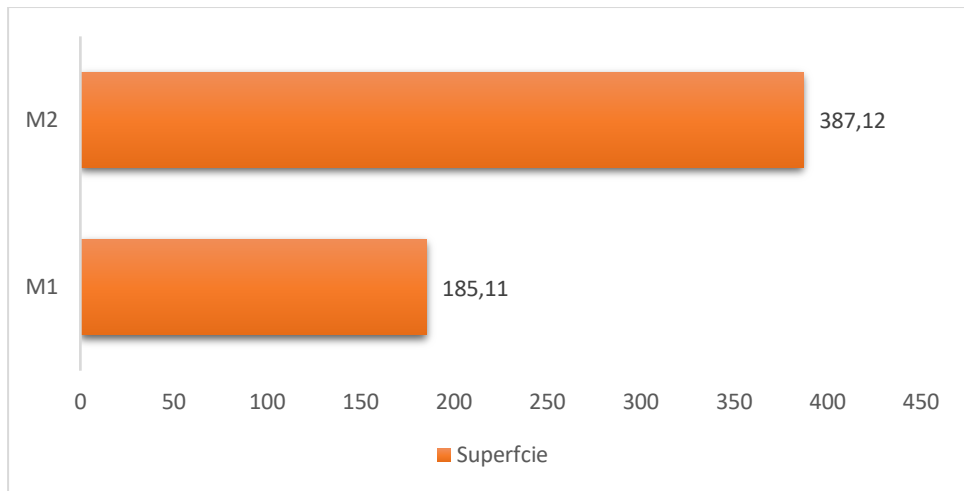
Dalle 4511



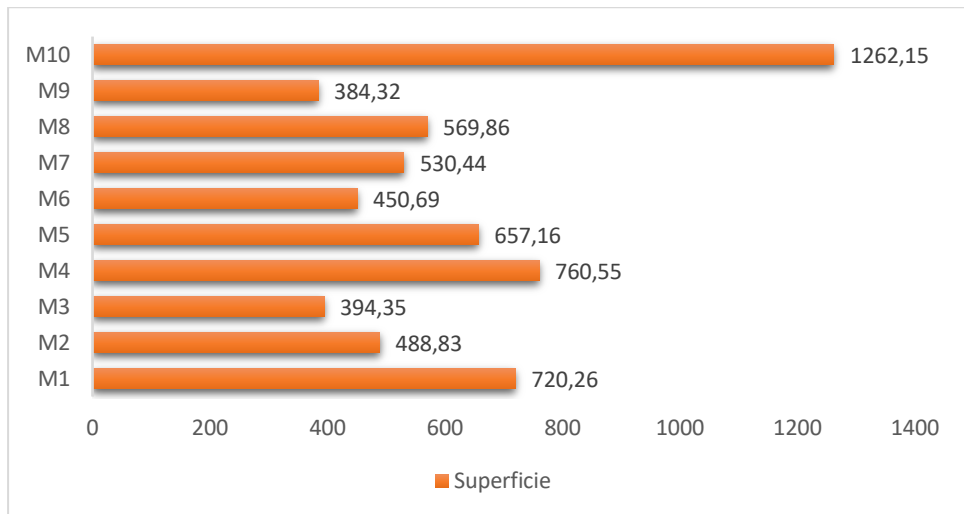
Dalle 4513



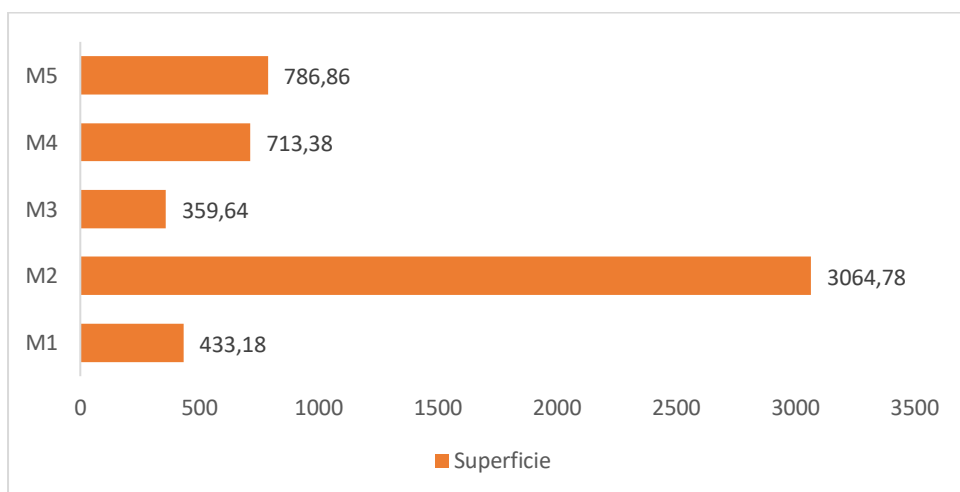
Dalle 4514



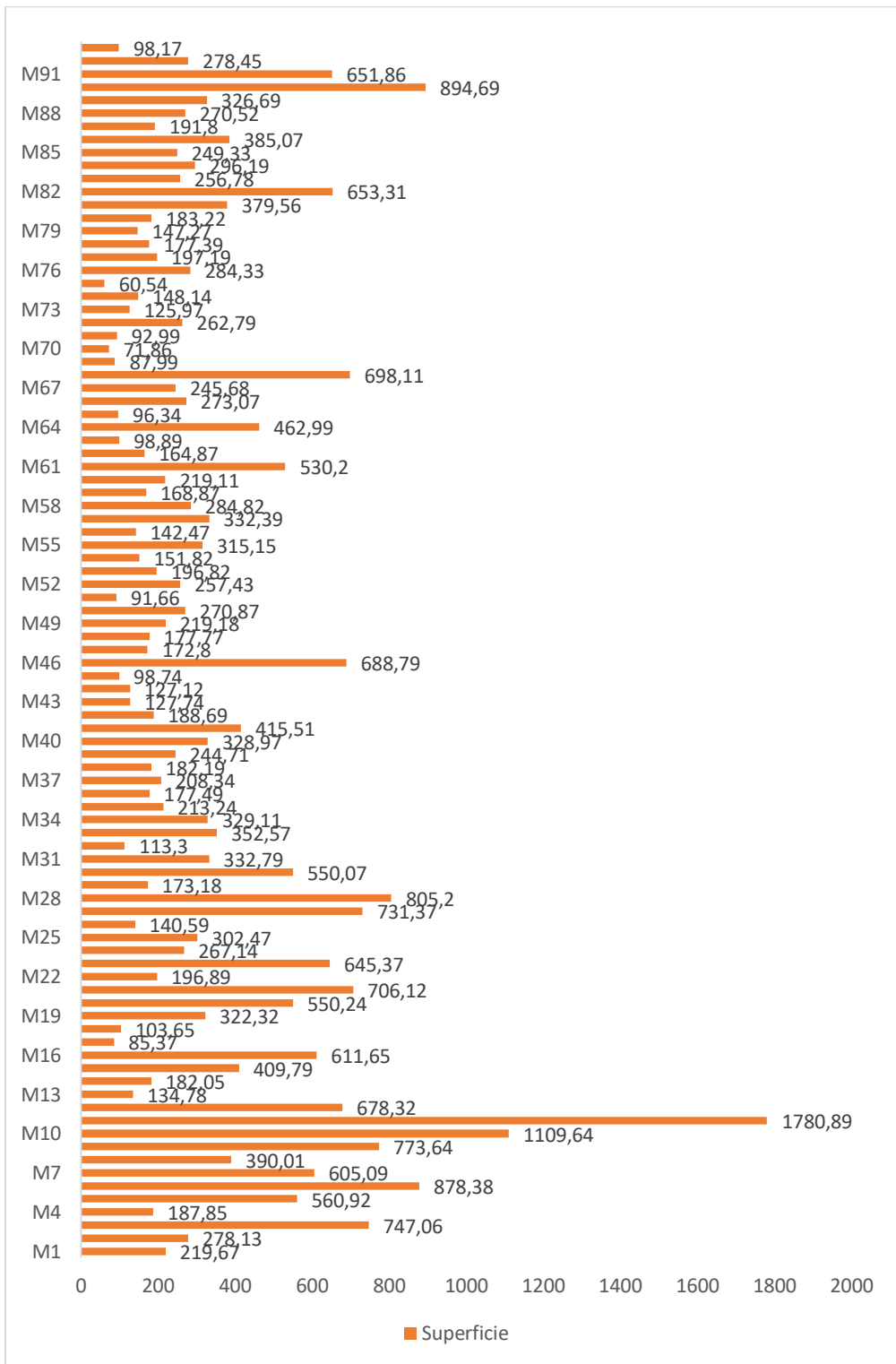
Dalle 4516



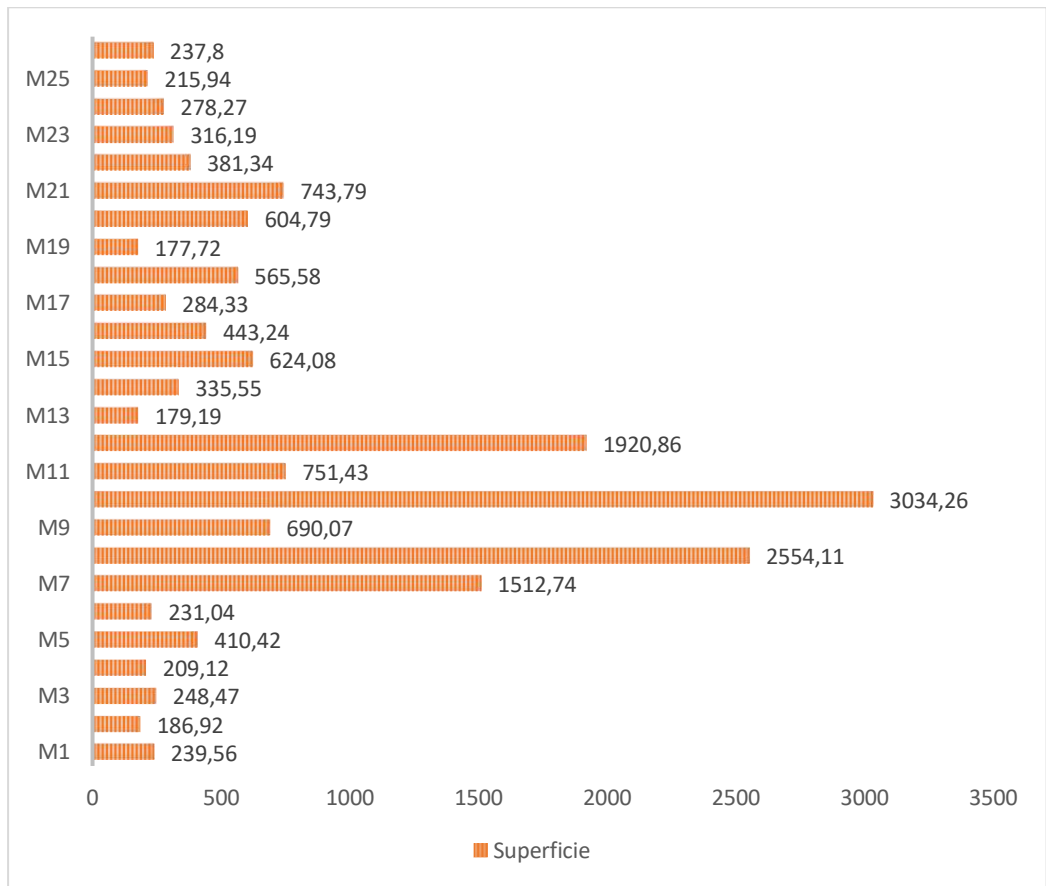
Dalle 4523



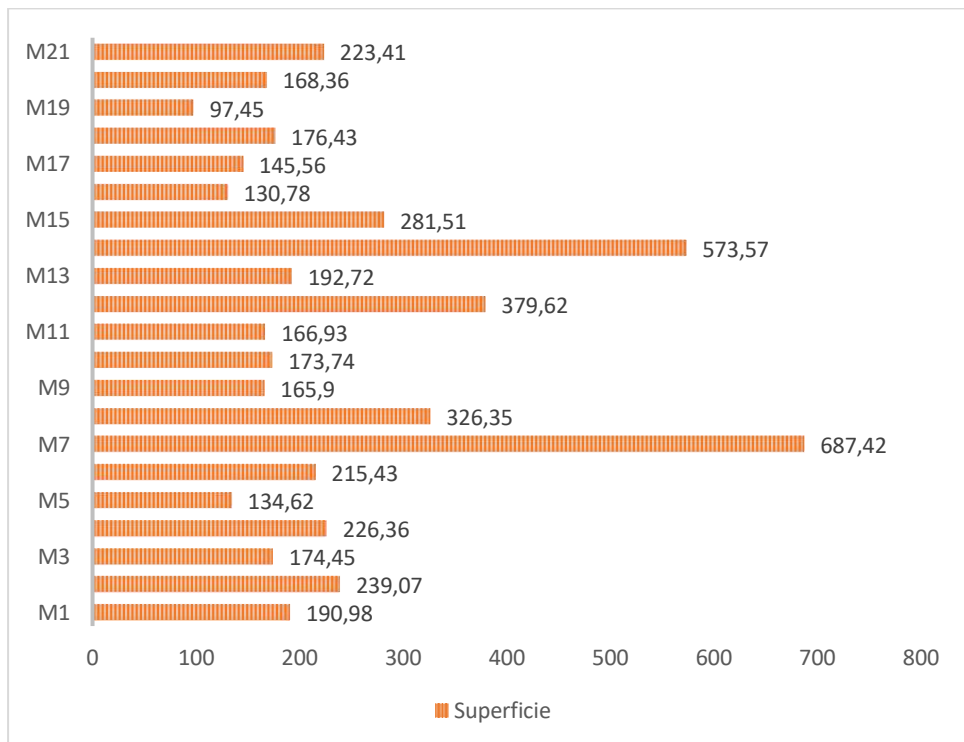
Dalle 4522



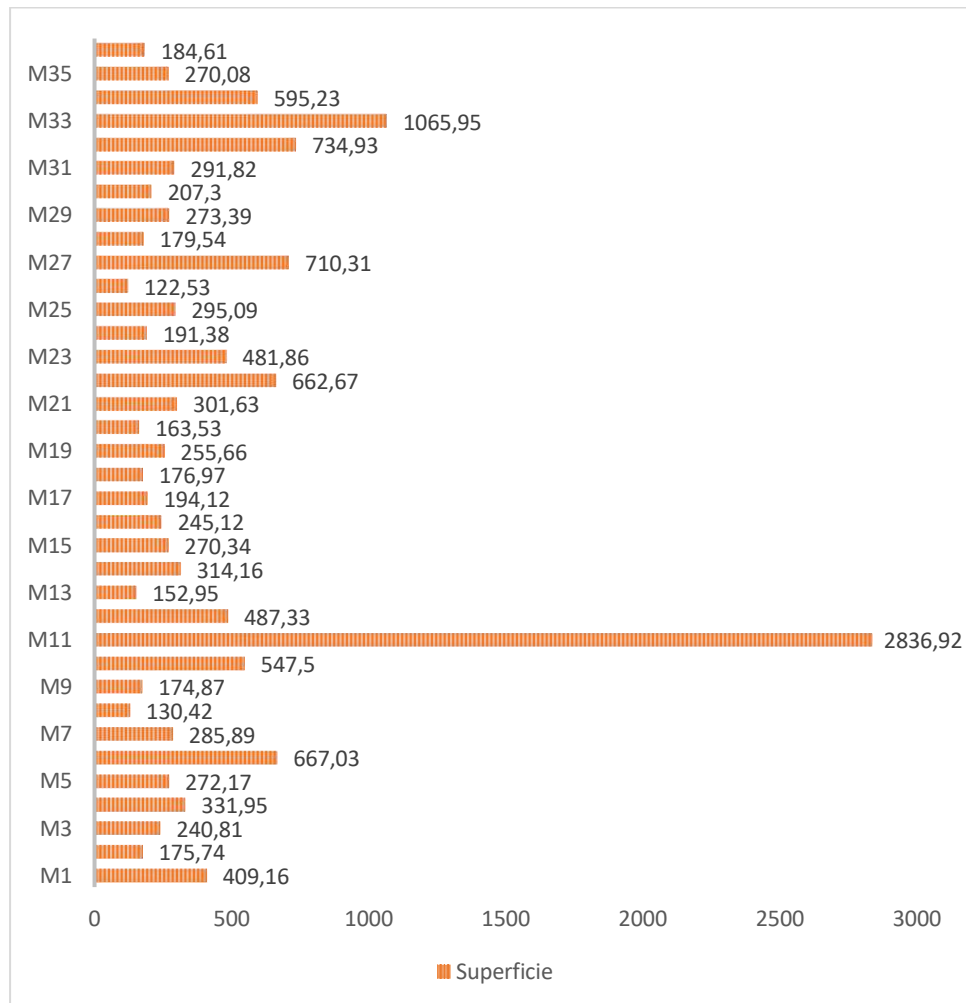
Dalle 4517



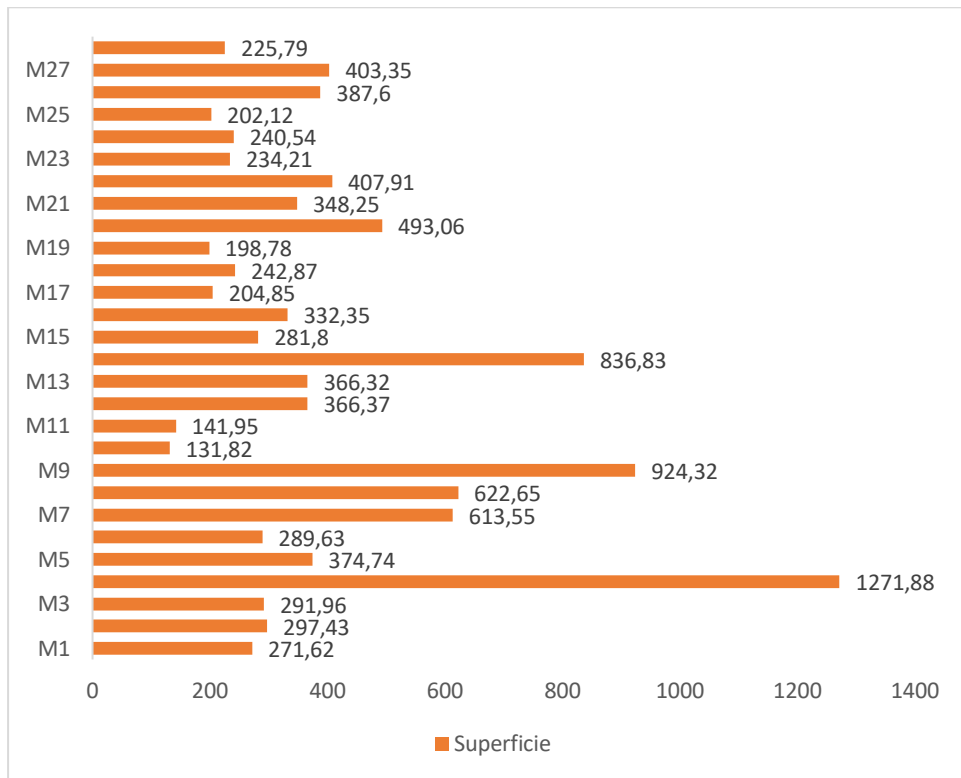
Dalle 4518



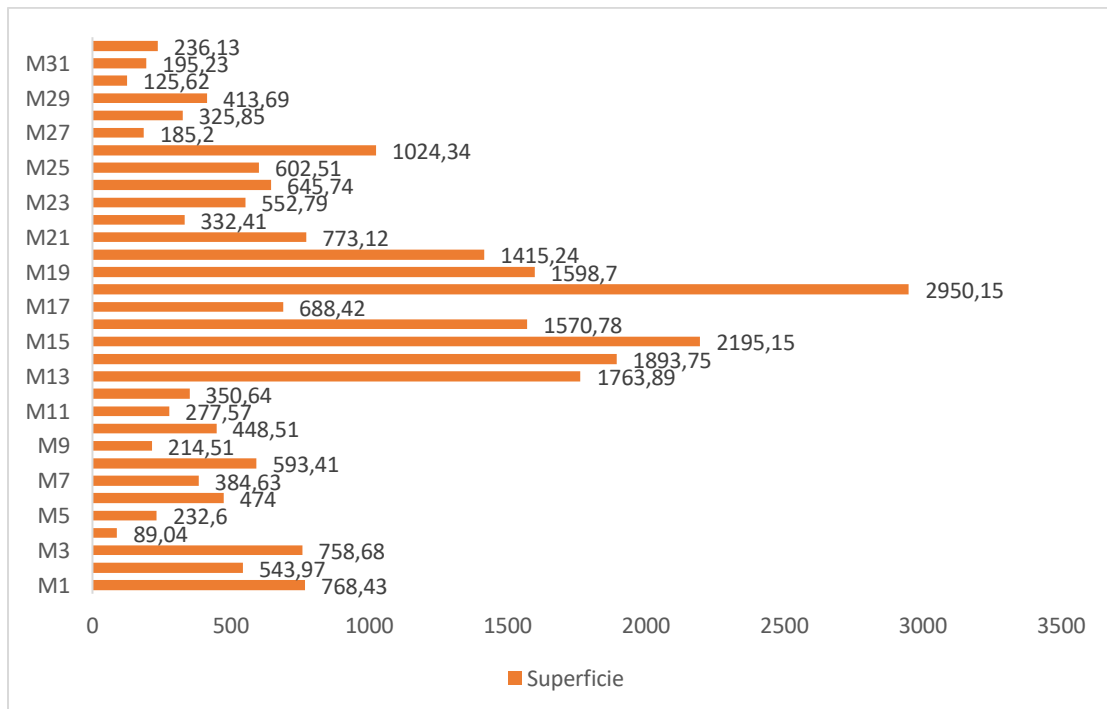
Dalle 4520



Dalle 4521



Dalle 4519



ANNEXE 6 : LISTE DES ESPECES EXOTIQUES ENAHISSANTES

PRÉOCCUPANTES



Liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne en date du 25 juillet 2019

Références réglementaires

- Règlement (UE) n° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes
- Règlement d'exécution (UE) 2016/1141 de la Commission du 13 juillet 2016 adoptant une liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union conformément au règlement (UE) n° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil
- Règlement d'exécution (UE) 2017/1263 de la Commission du 12 juillet 2017 portant mise à jour de la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union établie par le règlement d'exécution (UE) 2016/1141 conformément au règlement (UE) n° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil
- Règlement d'exécution (UE) 2019/1262 de la Commission du 25 juillet 2019 modifiant le règlement d'exécution (UE) 2016/1141 pour mettre à jour la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union

Liste d'espèces (en date du 25 juillet 2019)

Plantes aquatiques

[*Cabomba caroliniana* – Eventail de Caroline](#) [*Elodea nuttallii* - Elodée de Nuttall](#)

[*Eichhornia crassipes* - Jacinthe d'eau](#)

[*Hydrocotyle ranunculoides* - Hydrocotyle fausse-renoncule](#)

[*Lagarosiphon major* – Grand Lagarosiphon](#) [*Ludwigia grandiflora* - Jussie à grandes fleurs](#) [*Ludwigia peploides* - Jussie rampante](#) [*Myriophyllum aquaticum*- Myriophylle du Brésil](#)

[*Myriophyllum heterophyllum* - Myriophylle hétérophylle](#)

[*Salvinia molesta* - Salvinie géante](#)

ANNEXE 7 : DIRECTIVE DES OISEAUX

► B

DIRECTIVE DU CONSEIL

du 2 avril 1979

concernant la conservation des oiseaux sauvages

(79/409/CEE)

(JO L 103 du 25.4.1979, p. 1)

Modifiée par:

| | | Journal officiel | |
|----|--|------------------|------------|
| | | n° | date |
| M1 | Directive 81/854/CEE de la Commission du 19 octobre 1981 | L 319 3 | 7.11.1981 |
| M2 | Directive 85/411/CEE de la Commission du 25 juillet 1985 | L 233 33 | 30.8.1985 |
| M3 | Directive 86/122/CEE du Conseil du 8 avril 1986 | L 100 22 | 16.4.1986 |
| M4 | Directive 91/244/CEE de la Commission du 6 mars 1991 | L 115 41 | 8.5.1991 |
| M5 | Directive 94/24/CE du Conseil du 8 juin 1994 | L 164 9 | 30.6.1994 |
| M6 | Directive 97/49/CE de la Commission du 29 juillet 1997 | L 223 9 | 13.8.1997 |
| M7 | Règlement (CE) n° 807/2003 du Conseil du 14 avril 2003 | L 122 36 | 16.5.2003 |
| M8 | Directive 2006/105/CE du Conseil du 20 novembre 2006 | L 363 368 | 20.12.2006 |

Modifiée par:

| | | | |
|----|---|-------------------|-----------------------|
| A1 | Acte d'adhésion de la Grèce | L 291 17 | 19.11.1979 |
| A2 | Acte d'adhésion de l'Espagne et du Portugal | L 302 23 | 15.11.1985 |
| A3 | Acte d'adhésion de l'Autriche, de la Finlande et de la Suède (adapté par la décision 95/1/CE, Euratom, CECA du Conseil) | C 241 21 L 1 1 | 29.8.1994 1.1.1995 |
| A4 | Acte relatif aux conditions d'adhésion à l'Union européenne de la République tchèque, de la République d'Estonie, de la République de Chypre, de la République de Lettonie, de la République de Lituanie, de la République de Hongrie, de la République de Malte, de la République de Pologne, de la République de Slovénie et de la République slovaque, et aux adaptations des traités sur lesquels est fondée l'Union européenne | L 236 33 | 23.9.2003 |

DIRECTIVE DU CONSEIL

du 2 avril 1979

concernant la conservation des oiseaux sauvages

(79/409/CEE)

LE CONSEIL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES,

vu le traité instituant la Communauté économique européenne, et notamment son article 235,

vu la proposition de la

Commission ⁽¹⁾, vu l'avis de

l'Assemblée ⁽²⁾,

vu l'avis du Comité économique et social ⁽³⁾,

considérant que la déclaration du Conseil, du 22 novembre 1973, concernant un programme d'action des Communautés européennes en matière d'environnement ⁽⁴⁾, prévoit des actions spécifiques pour la protection des oiseaux, complétées par la résolution du Conseil des Communautés européennes et des représentants des gouvernements des États membres, réunis au sein du Conseil, du 17 mai 1977, concernant la poursuite et la réalisation d'une politique et d'un programme d'action des Communautés européennes en matière d'environnement ⁽⁵⁾;

considérant que, sur le territoire européen des États membres, un grand nombre d'espèces d'oiseaux vivant naturellement à l'état sauvage subissent une régression de leur population, très rapide dans certains cas, et que cette régression constitue un danger sérieux pour la conservation du milieu naturel, notamment à cause des menaces qu'elle fait peser sur les équilibres biologiques;

considérant que les espèces d'oiseaux vivant naturellement à l'état sauvage sur le territoire européen des États membres sont en grande partie des espèces migratrices; que de telles espèces constituent un patrimoine commun et que la protection efficace des oiseaux est un problème d'environnement typiquement transfrontalier qui implique des responsabilités communes;

considérant que les conditions de vie des oiseaux au Groenland diffèrent fondamentalement de celles que connaissent les oiseaux dans les autres régions du territoire européen des États membres en raison des circonstances générales et notamment du climat, de la faible densité de la population ainsi que de l'étendue et de la situation géographique exceptionnelles de cette île;

considérant que, dès lors, il y a lieu de ne pas appliquer la présente directive au Groenland;

considérant que la conservation des espèces d'oiseaux vivant naturellement à l'état sauvage sur le territoire européen des États membres est nécessaire à la réalisation, dans le fonctionnement du marché commun, des objectifs de la Communauté dans les domaines de l'amélioration des conditions de vie, d'un développement harmonieux des activités économiques dans l'ensemble de la Communauté et d'une expansion continue et équilibrée, mais que les pouvoirs d'action spécifiques requis en la matière n'ont pas été prévus par le traité;

(1) JO n° C 24 du 1. 2. 1977, p. 3 et JO n° C 201 du 23. 8. 1977, p. 2.

(2) JO n° C 163 du 11. 7. 1977, p. 28.

(3) JO n° C 152 du 29. 6. 1977, p. 3.

(4) JO n° C 112 du 20. 12. 1973, p. 40.

(5) JO n° C 139 du 13. 6. 1977, p. 1.

considérant que les mesures à prendre doivent s'appliquer aux différents facteurs qui peuvent agir sur le niveau de population des oiseaux, à savoir les répercussions des activités humaines et notamment la destruction et la pollution de leurs habitats, la capture et la destruction par l'homme ainsi que le commerce auquel ces pratiques donnent lieu et qu'il y a lieu d'adapter le degré de ces mesures à la situation des différentes espèces dans le cadre d'une politique de conservation;

considérant que la conservation a pour objet la protection à long terme et la gestion des ressources naturelles en tant que partie intégrante du patrimoine des peuples européens; qu'elle permet la régulation de ces ressources et réglemente leur exploitation sur la base de mesures nécessaires au maintien et à l'adaptation des équilibres naturels des espèces dans les limites de ce qui est raisonnablement possible;

considérant que la préservation, le maintien ou le rétablissement d'une diversité et d'une superficie suffisantes d'habitats sont indispensables à la conservation de toutes les espèces d'oiseaux; que

certaines espèces d'oiseaux doivent faire l'objet de mesures de conservation spéciale concernant leur habitat afin d'assurer leur survie et leur reproduction dans leur aire de distribution; que ces mesures doivent également tenir compte des espèces migratrices et être coordonnées en vue de la constitution d'un réseau cohérent;

considérant que, pour éviter que les intérêts commerciaux n'exercent une pression nocive éventuelle sur les niveaux de prélèvement, il est nécessaire d'instaurer une interdiction générale de commercialisation et de limiter toute dérogation aux seules espèces dont le statut biologique le permet, compte tenu des conditions spécifiques qui prévalent dans les différentes régions;

considérant qu'en raison de leur niveau de population, de leur distribution géographique et de leur taux de reproduction dans l'ensemble de la Communauté certaines espèces peuvent être l'objet d'actes de chasse, ce qui constitue une exploitation admissible, pour autant que certaines limites soient établies et respectées, ces actes de chasse devant être compatibles avec le maintien de la population de ces espèces à un niveau satisfaisant;

considérant que les moyens, installations ou méthodes de capture ou de mise à mort massive ou non sélective ainsi que la poursuite à partir de certains moyens de transport doivent être interdits en raison de la pression excessive qu'ils exercent ou peuvent exercer sur le niveau de population des espèces concernées;

considérant que, en raison de l'importance que peuvent revêtir certaines situations spécifiques, il y a lieu de prévoir une possibilité de dérogation, sous certaines conditions, assortie d'une surveillance par la Commission;

considérant que la conservation des oiseaux, et en particulier la conservation des oiseaux migrateurs, pose encore des problèmes pour lesquels des travaux scientifiques doivent être entrepris et que ces travaux permettront en outre d'évaluer l'efficacité des mesures prises;

considérant qu'il s'agit de veiller en consultation avec la Commission à ce que l'introduction éventuelle d'espèces d'oiseaux ne vivant pas naturellement à l'état sauvage sur le territoire européen des États membres ne porte aucun préjudice à la flore et à la faune locales;

considérant que la Commission préparera et communiquera aux États membres tous les trois ans

un rapport de synthèse basé sur les informations que les États membres lui adresseront sur l'application des dispositions nationales prises en vertu de la présente directive;

considérant que le progrès technique et scientifique nécessite une adaptation rapide de certaines annexes qu'il convient, pour faciliter la mise en oeuvre des mesures nécessaires à cet effet, de prévoir une procédure instaurant une coopération étroite entre les États membres et la Commission au sein d'un comité pour l'adaptation au progrès technique et scientifique,

A ARRÊTÉ LA PRÉSENTE DIRECTIVE:

Article premier

1. La présente directive concerne la conservation de toutes les espèces d'oiseaux vivant naturellement à l'état sauvage sur le territoire européen des États membres auquel le traité est d'application. Elle a pour objet la protection, la gestion et la régulation de ces espèces et en réglemente l'exploitation.
2. La présente directive s'applique aux oiseaux ainsi qu'à leurs oeufs, à leurs nids et à leurs habitats.
3. La présente directive ne s'applique pas au Groenland.

Article 2

Les États membres prennent toutes les mesures nécessaires pour maintenir ou adapter la population de toutes les espèces d'oiseaux visées à l'article 1^{er} à un niveau qui correspond notamment aux exigences écologiques, scientifiques et culturelles, compte tenu des exigences économiques et récréationnelles.

Article 3

1. Compte tenu des exigences mentionnées à l'article 2, les États membres prennent toutes les mesures nécessaires pour préserver, maintenir ou rétablir une diversité et une superficie suffisantes d'habitats pour toutes les espèces d'oiseaux visées à l'article 1^{er}.
2. La préservation, le maintien et le rétablissement des biotopes et des habitats comportent en premier lieu les mesures suivantes:
 - a) création de zones de protection;
 - b) entretien et aménagement conformes aux impératifs écologiques des habitats se trouvant à l'intérieur et à l'extérieur des zones de protection;
 - c) rétablissement des biotopes détruits;
 - d) création de biotopes.

Article 4

1. Les espèces mentionnées à l'annexe I font l'objet de mesures de conservation spéciale concernant leur habitat, afin d'assurer leur survie et leur reproduction dans leur aire de distribution.

À cet égard, il est tenu compte:

- a) des espèces menacées de disparition;
- b) des espèces vulnérables à certaines modifications de leurs habitats;
- c) des espèces considérées comme rares parce que leurs populations sont faibles ou que leur répartition locale est restreinte;
- d) d'autres espèces nécessitant une attention particulière en raison de la spécificité de leur habitat.

Il sera tenu compte, pour procéder aux évaluations, des tendances et des variations des niveaux de population.

ANNEXE 8 A : LES 10 MARES SELECTIONNEES

Mare M2 Basse-Pointe



Mare M5 Schoelcher



Mare M6 Schoelcher



Mare M7 Schoelcher



M8 Schoelcher



M13 Anses d'Arlet



Annexe 8 B : les 10 mares sélectionnées

M14 Anses d'Arlet



M34 Saint-Anne



M35 Saint-Anne



M42 Sainte-Luce

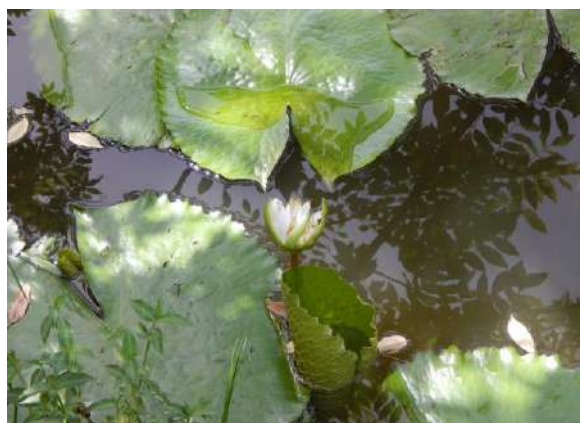


ANNEXE 10 : LES ESPECES VEGETALES AQUATIQUES

Pistia stratiotes



Nymphaea ampla



Cyperus papyrus



Hydrilla verticillata



Salvinia Molesta



Eichhornia crassipes



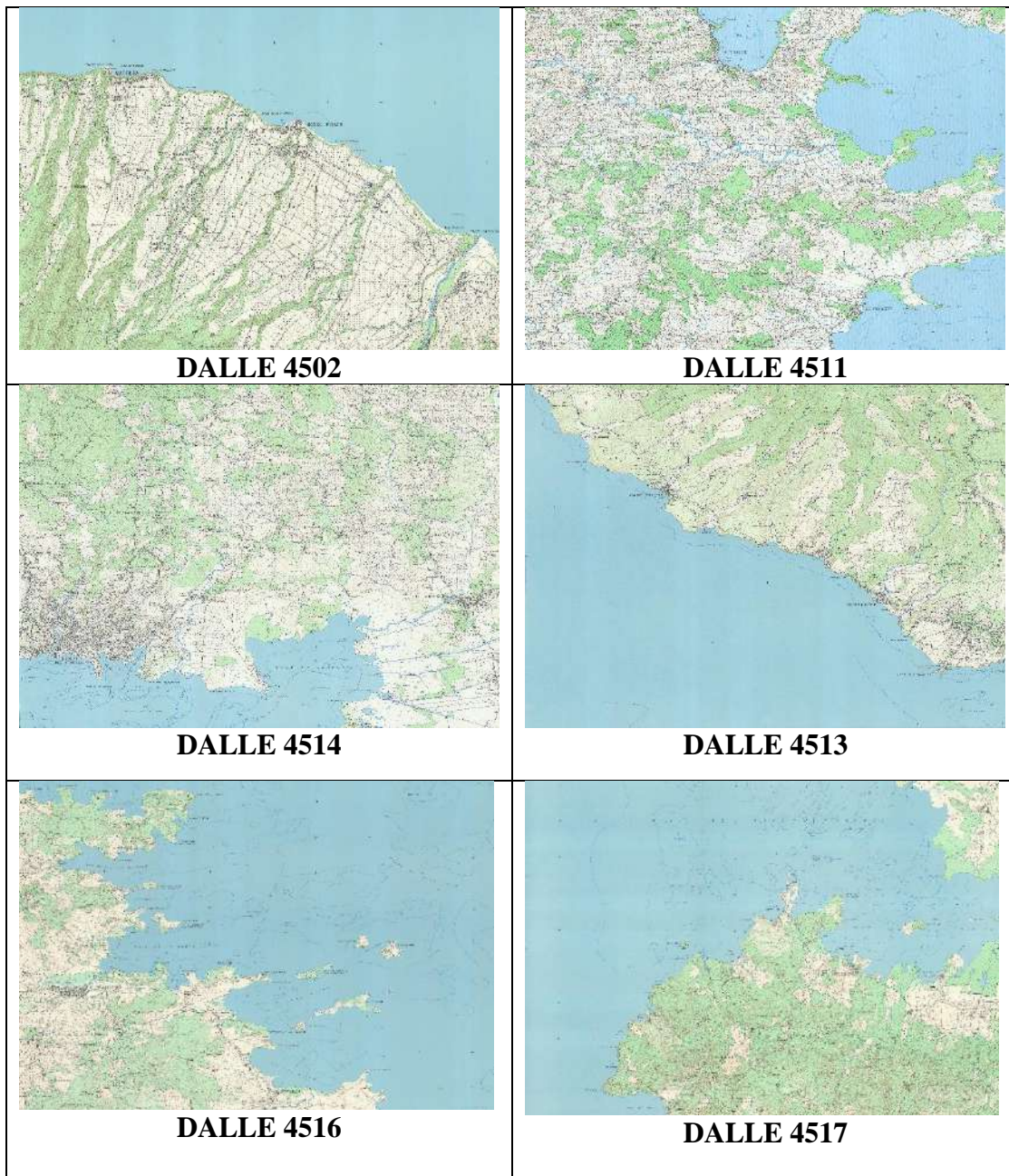
Micranthemum umbrosum



Cyperus papyrus



ANNEXE 11 A : PLANCHE DES DALLES 4502 ET 4511 A 4517



ANNEXE 11 B : PLANCHE DES DALLES DE 4518 A 4523



INDEX DES AUTEURS

A

Adam et Mutanga · 141
Adeyemi et Osubor · 130, 131
Agami et Reddy · 73, 132
amphiphyte · 42
anthropisation · 3, 4, 8, 9, 10, 102, 242
Arnaboldi et Alban · 47, 48
Artigas · 85
atterrissemen · 7
Aubert et Boulaine · 87

B

Baniszewskiet *al.* · 136, 137
Barbe · 69, 70, 116
Bardinet · 99
Barko *et al.* · 70
Barnaud et Fustec · 6, 7, 12, 36, 38
Barrett et Forno · 131
Bartou · 67
bassin versant · 6, 33, 48, 49, 54, 63, 65, 66, 100
Batanouny et El-fiky · 131
Batt *et al.* · 7
Bégin · 49, 52
Bégot *et al.* · 83
Bernadet · 99
Bertrand *et al.* · 67
Biggs *et al.* · 47
bioclimats · 34, 95, 183
biodiversité · 3, 8, 19, 39, 61, 62, 63, 76, 77, 79, 129, 141, 240, 242, 247, 249, 251, 252, 277, 302
biomasse · 62, 71, 132
biotope · 6, 7, 9, 21, 48, 77, 108, 147, 154, 234, 246, 281
Bock · 131
Boissinot · 55, 56, 57, 58, 60, 61
Bonilla-Barbosa *et al.* · 138
Bornette et Puijalon · 39
botanique · 13, 25, 47, 142, 279, 280
Braque · 49
Breton *et al.* · 52, 53
Brizard · 108
Brönmark et Hansson · 6

C

Carey et Alexander · 77
cartographie · 3, 10, 20, 25, 35, 68, 146, 147, 150, 160, 281, 301
Céréghino *et al.* · 7
Chadwick et Obeid · 130

Chaïb · 8, 49, 56, 69, 71
changement climatique · 8, 75, 76, 77, 247
Choudhary *et al.* · 126
Cilliers · 126, 129
Cocu · 88, 89, 92, 93, 97, 99
comblement · 7, 78, 233, 235, 246, 249, 251, 256, 258, 260, 262
compétition interspécifique · 73, 143, 217
conservation · 3, 4, 5, 9, 14, 16, 17, 18, 25, 77, 78, 141, 203, 233, 247, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 279, 281, 282, 285, 288, 289, 292, 293, 299
Cook et Luond · 134, 135, 136, 137
Copeland *et al.* · 134, 135
Cornelissen · 76
Couderc · 49, 50
Cowardin et Golet · 15, 20
Crevecoeur · 49, 52, 53
Cronk et Fenessy · 9, 39, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 73
Culley *et al.* · 124
cuvettes temporaires · 54

D

d'origines anthropiques · 55
Dar *et al.* · 69, 70, 71, 72, 73, 74
Davidson *et al.* · 29
De Busk *et al.* · 131
Demangeot · 86
Den Hartog et Segal · 9, 223
dépression · 33, 50
Dewald et Lounibos · 121
doline · 49, 50, 51
Downing *et al.* · 68, 69
Dray et Center · 122
Dupont · 49, 52, 53
Dutartre *et al.* · 246
dynamique temporelle · 57

E

écosystème écologique · 87
écosystème lentique · 6
écosystèmes lotiques · 16
écotone · 13
espèces aquatiques · 2, 42, 45, 225, 246, 251
espèces endémiques · 42
espèces exotiques envahissantes · 9
espèces invasives · 46, 116, 157, 241, 242, 243, 245, 246, 252
espèces potentiellement invasives · 9, 10, 241, 244, 250
espèces terrestres · 45
espèces végétales introduites · 6, 8
eutrophisation · 63, 64, 199, 239, 251, 303

F

facteurs abiotiques et biotiques · 39, 69
Faugères · 84
Fénelon · 49, 158
Finlayson · 35
Finlayson *et al.* · 7, 35
Finlayson et Van der Valk · 21, 25
flore aquatique · 2, 10, 72, 157, 203, 245, 250, 251
Fluet-Chouinard *et al.* · 29
fonctions écologiques · 10, 62
fonctions hydrologiques · 16
Ford et Williams · 50, 51
Forno et Harley · 126
Fournet · 121, 124, 131, 134, 135, 136, 138, 139, 141,
142, 157, 279, 292
Fraser et Keddy · 28

G

Gamrat · 75
Gayot et Laval · 7, 8, 9, 23
gestion des mares · 2, 60, 247, 248, 278
Gilbert *et al.* · 75, 76
Gobat *et al.* · 87
Goswami et Saikia · 131
Graitson *et al.* · 56, 57, 58, 60, 61
Gramond *et al.* · 6, 26
Gramond *et al.* · 25
Grillas *et al.* · 49, 54
Gunnarsson et Mattsson Petersen · 133

H

habitats · 12, 13, 17, 19, 20, 21, 40, 41, 47, 53, 60, 69, 76,
102, 129, 134, 135, 136, 203, 217, 240, 243, 246, 252,
273, 275, 276, 290, 301
habitats aquatiques · 12, 13, 40, 53, 129, 136, 246
Haury · 116
Hellmann *et al.* · 252
hélrophytes · 41, 44, 45, 48, 71, 72, 116, 203, 204, 221,
245
herbacées · 43
Hervé · 65
Hofstra *et al.* · 74
Howard et Harley · 121
Hu *et al.* · 30, 31
Hussain *et al.* · 126, 129
Hutchinson · 6
hydrogéomorphologie · 36, 38
hydrologie · 3, 13, 15, 20, 25, 36, 37, 38, 47, 85, 234, 247,
301
hydropériodes · 65
hydrophytes · 6, 9, 12, 13, 15, 39, 41, 44, 45, 48, 71, 74,
116, 120, 129, 141, 203, 204, 221, 222, 223, 225, 245

I

Indermuehle *et al.* · 61, 75, 78
inventaires · 2, 3, 19, 25, 35, 67, 68, 78, 150, 151, 178,
209, 233, 243, 245
Isnard · 81

J

Jain et Kalamdhad · 135
Joly · 147
Joseph · 1, 3, 1, 86, 88, 89, 92, 93, 306
Joye et Paul · 135
Julien · 126

K

Khan *et al.* · 121, 122
Kurugundla · 121, 122

L

la pollution des eaux de surface · 75
Lacoste et Salanon · 42
Lakshminarayana *et al.* · 131
Lal et Gopal · 135, 137
Langeland · 134, 135, 136, 137
Lefor et Kennard · 13
Lehmann · 50
Leterme *et al.* · 129
Li *et al.* · 131
limnologie · 40, 67
Limnophyte · 42
Indermuehle *et al.* · 65, 75

M

macrophytes · 39, 40, 44, 53, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 132,
241, 279, 285, 291, 295, 298, 300, 301, 306, 308
Maddi · 9, 108, 131, 134, 135, 136, 157, 245
Madeira *et al.* · 134, 135
Major et Claude · 85, 95, 108, 134, 142, 157, 203
Maltby · 27
mardelles · 49, 50, 282, 284
marécages · 6, 13, 14, 17, 19, 35, 39, 48, 138, 140
mares anthropiques · 102, 116
mares artificielles · 55
mares de prairie · 60, 61
mares forestières · 60, 61, 71, 114, 198, 199, 201, 225,
226, 231, 236, 239, 248, 278, 291
mares naturelles · 7, 49
mares temporaires · 48, 66, 77
mares urbaines · 60
Martin *et al.* · 126, 128, 129
May · 46, 116
Mayo et Hanai · 130, 131, 132, 133

Ménard *et al.* · 19, 20, 24, 26
Merry et Mitan · 130, 131, 132, 133
milieu aquatique · 7, 288
milieu humide · 3, 7, 9, 10, 12, 13, 16, 19, 20, 24, 31, 35,
36, 38, 41, 59, 63, 69, 112, 228, 247, 250
Mitsch · 35
Mitsch et Gosselink · 12, 13, 14, 15, 16, 27, 35, 36, 38
Montgolfier · 236
Moore · 33, 34
morphologie · 24, 43, 50, 53, 70, 201, 234, 236, 242, 295
Mubarak *et al.* · 129
Muller · 240, 241, 242
Muniappan *et al.* · 122, 126, 127, 128, 130, 133
Muniappan *et al.* · 122, 127, 128, 130, 133
Muramoto et Oki · 131
Murphy *et al.* · 41
Musy et Higy · 6
Muthuri et Jones · 140

N

nappes phréatiques · 65
niveau trophique · 63, 64, 65, 253

O

O'reagan *et al.* · 75, 77
Oertli et Frossard · 6, 7, 10, 45, 49, 55, 56, 58, 59, 64, 65,
66, 67, 68, 76, 77, 78, 139, 140, 141, 145, 235, 248
Oertli et Frossart · 234

Ö

Öquist et Stevenson · 19, 20, 28

O

origines naturelles · 55
Ouzeau *et al.* · 248
Ozengin et Elmaci · 124

P

paysage · 2, 3, 7, 20, 27, 32, 37, 67, 75, 78, 83, 84, 85, 86,
232, 234, 236, 242, 247, 251, 281, 296
paysages karstiques · 50
pédologie · 13, 25, 278, 290
Peltre *et al.* · 46, 116
pergélisol · 34, 38, 52, 53, 284, 286
permafrost · 34, 282
phytocénose · 6, 102
plantes aquatiques · 2, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 61,
64, 69, 70, 72, 133, 136, 137, 143, 145, 217, 223, 224,
225, 242, 245, 281, 286, 302
plantes autochtones · 47
plantes émergentes · 41, 43, 61

plantes flottantes · 44
plantes intra-aquatiques · 45
plantes ornementales · 47
pluviométrie · 88, 95, 97, 99, 113
Polprasert *et al.* · 131
polymorphes · 6
Portecop · 83, 84, 88, 89, 92, 93
Prabha *et al.* · 134, 137
précipitations · 5, 6, 12, 31, 33, 34, 38, 48, 66, 71, 75, 77,
88, 95, 97, 99, 100, 108, 202, 234, 247, 255, 257, 259,
261
préservation · 2, 3, 9, 14, 16, 40, 59, 74, 79, 246, 247,
253, 273, 275
Prokopuk et Zub · 121
prolifération · 2, 46, 64, 133, 210, 217, 240, 243, 244, 302
Pulido *et al.* · 124

R

Ramade · 6, 13, 44, 45, 48
Ranarijaona *et al.* · 130, 133
régime hydrologique · 6, 38, 39, 234
répartition potentielle des milieux humides · 31
réseau hydrographique · 2, 48, 66, 84, 93, 99, 100, 178
restauration · 2, 77, 78, 79, 112, 203, 246, 249, 251, 253,
283, 302
Rezania *et al.* · 131, 132
Rezania *et al.* · 131
rhizophytes · 6, 45, 223, 245
Room et Thomas · 126
Rosado *et al.* · 140
Rougerie · 235, 238
ruissellements · 65, 66

S

Sajajoli · 21, 60
Sajaloli · 250
Sajaloli *et al.* · 6
Sajaloli et Dutilleul · 48
Sajaloli et Teissier-Ensminger · 68
Šajna *et al.* · 121, 122
Sarat *et al.* · 6
Sauro · 50, 51
savane · 34, 84, 85, 86, 102, 111, 112, 198, 199, 231, 236,
250, 255, 257, 259, 261
Scott · 20
Scott et Jones · 23
Sels · 88, 89, 92, 93
Shaw et Fredine · 14
Silva *et al.* · 130, 132
Silva *et al.* · 130
Sim Ng et Chan · 39
Sindhu *et al.* · 133
sol hydromorphe · 12
sols argileux · 49, 72, 93
sols hydriques · 16
Soubeyran *et al.* · 245
Spencer *et al.* · 135, 137

Spencer et Anderson · 134
Steward · 134, 135
Steward et Van · 134
Sutton *et al.* · 136
système palustre · 21
systèmes de classification · 19, 20

T

Tchatat *et al.* · 241
Tchatat *et al.*, · 241
Teissier-Ensminger et Sajaloli · 233, 250
Theuri · 131, 133
Theuri, 2013 · 131
Tiner · 12, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 23, 25, 32, 33, 34, 35,
38, 39, 40, 45
Tipping *et al.* · 126, 128
topographie · 6, 32, 37, 38, 66, 84, 87
Tucker et D'Abramo · 154
typologie des mares · 10, 59
typologie des milieux humides · 19, 21, 25

U

Unadkat et Parikh · 124, 125
unités géomorphologiques · 83
Urbanc-bercic et Gaberscik · 132
usage agricole · 56
usages actuels · 56, 57
usages anciens · 56
usages de la mare · 57

V

Van Dam *et al.* · 6, 55, 60, 61

végétation aquatique · 2, 3, 12, 46, 61, 70, 72, 73, 74, 76,
109, 113, 115, 148, 152, 199, 200, 204, 209, 236, 239,
249, 250, 251, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262
végétation hydrophyte · 16
végétation ligneuse · 109, 236
Ventakapen · 88, 89, 92, 93

W

Wang *et al.* · 124
Weldon et Blackburn · 121
Whigham · 247
Wiersema · 9, 44, 138, 139
Wiersema *et al.* · 9, 44, 138
Williamson *et al.* · 8, 75
Wilson *et al.* · 131, 133
Woodward *et al.* · 6, 8, 75, 76, 77

X

Xie et Yu · 131
Xu *et al.* · 124

Y

Yeo et al · 134, 135, 136

Z

zone limnétique · 6, 48
zone littorale · 6, 13, 48, 70
zone pélagique · 70
zone profonde · 48, 70
zones humides · 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 27, 28, 40, 78,
140, 144, 145, 279, 288, 289, 290, 297, 303, 305