



HAL
open science

Les lacs insulaires du sud-ouest de l’océan indien, un enjeu pour la gestion durable de la ressource en eau

Eric Mathelin

► **To cite this version:**

Eric Mathelin. Les lacs insulaires du sud-ouest de l’océan indien, un enjeu pour la gestion durable de la ressource en eau. Géographie. Université d’Orléans, 2013. Français. NNT : 2013ORLE1133 . tel-01015792

HAL Id: tel-01015792

<https://theses.hal.science/tel-01015792v1>

Submitted on 27 Jun 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITÉ D'ORLÉANS



ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DE L'HOMME ET DE LA SOCIÉTÉ

LABORATOIRE CEDETE

THÈSE

présentée par :

Eric MATHELIN

soutenue le : **17 décembre 2013**

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'Université d'Orléans**

Discipline/ Spécialité : **Géographie**

**Les lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien,
un enjeu pour la gestion durable
de la ressource en eau.**

THÈSE dirigée par :

Laurent TOUCHART Professeur des Universités, Université d'Orléans

RAPPORTEURS :

Emmanuelle HELLIER Professeure des Universités, Université européenne de Bretagne-Rennes 2

François TAGLIONI Professeur des Universités, Université de la Réunion

JURY :

Jeanine CORBONNOIS Professeure des Universités, Université du Maine, présidente de jury

François TAGLIONI Professeur des Universités, Université de la Réunion

Emmanuelle HELLIER Professeure des Universités, Université européenne de Bretagne-Rennes 2

Pascal BARTOUT Maître de conférences, Université d'Orléans

Laurent TOUCHART Professeur des Universités, Université d'Orléans

A Stéphanie et Anaïs.



Avant propos

Ces 6 années de recherche m'ont permis d'appréhender un territoire et un thème aussi passionnant qu'envoûtant, le sud-ouest de l'océan Indien et ses lacs. Cet espace composé de multiples îles aux faciès si contrastés m'a fait découvrir des paysages et une culture qui m'était jusque là inconnue. Originaire du Limousin, la vie dans un espace insulaire aussi éloigné, m'a permis de prendre conscience des contraintes mais aussi des atouts de ces territoires. La découverte des lacs insulaires tant naturels qu'anthropiques dans cette région a constitué un prolongement évident de mes recherches sur les étangs limousins, effectués sous la direction de Laurent Touchart. En tant que limnologue, celui-ci s'imposait donc comme un excellent directeur de thèse du fait de son immense connaissance des lacs au travers du monde entier.

Résident depuis plus de 8 ans à La Réunion pour des raisons professionnelles, j'ai pu mener ce travail tout en couplant recherche, mes activités d'enseignement et ma vie personnelle, ce qui explique en partie la durée de cette recherche. L'éloignement de mon laboratoire de recherche (CEDETE), mes activités professionnelles ont constitué des difficultés pour réaliser ce travail pour lequel le manque de temps et de moyens ont limité certaines démarches scientifiques. La richesse du thème des lacs insulaires m'a amené à élargir mon approche basée sur une formation en géographie physique pour intégrer de plus en plus d'analyses humaines. Cette recherche m'a donc amené à arpenter les nombreux sentiers de l'île au cours de mes multiples visites de terrain ainsi que les autres îles de cette région, en particulier l'île Maurice à la découverte des multiples lacs.

J'ai pu m'appuyer sur ces centaines de kilomètres et d'innombrables heures d'observation pour construire cette recherche. Ce travail se base donc sur le croisement de mesures de terrain et de vastes banques de données mises à disposition par les autorités locales compétentes. Cependant l'immersion quotidienne dans ces sociétés insulaires m'a permis surtout de rencontrer les divers acteurs de ce territoire et de découvrir des éléments qui quelquefois ne transparaissent pas au travers de bases de données. De cette démarche croisée est née le fruit de cette analyse, qui je l'espère vous fera découvrir et apprécier ces lacs insulaires qui ont nourri mes rêves tout au long de ces années.

Remerciements

Au moment de rédiger les dernières pages de ce travail de recherche, je tiens avant tout à remercier tous ceux et celles qui ont su m'apporter leur soutien par quelques manières que ce soit tout au long de ces années. La distance, l'isolement n'ont pas toujours été des facteurs facilitant pour ce travail, mais sans la bienveillance de chacun, rien de tout cela n'aurait été possible.

Mes premières pensées vont avant tout à Monsieur Laurent Touchart, Professeur des Universités qui a su m'accorder son soutien et sa disponibilité à chaque instant. Malgré l'éloignement, il a su par sa passion et sa confiance, maintenir en moi la détermination d'avancer pas à pas afin d'achever ce travail. Nos nombreux échanges et l'amitié qui en a découlé, m'ont permis de façonner ma pensée bien au-delà du cadre universitaire et géographique. Je tiens donc à le remercier pour tout ce qu'il m'a apporté durant cette période recherche et durant l'ensemble de mon cursus universitaire.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance aux membres du jury :

Me Jeanine Corbonnois, Professeur de Géographie à l'Université du Maine, pour avoir accepté d'avoir présidé mon jury ainsi que pour l'examen critique de cette thèse.

Madame Emmanuelle Hellier, Professeur de Géographie à l'Université de Rennes 2 pour avoir aussi accepté d'être rapporteuse de ce travail.

Monsieur François Taglioni, Professeur de Géographie à l'Université de La Réunion pour avoir accepté d'être rapporteur de ce travail et de m'avoir accueilli au sein de son département de Géographie à chaque fois que je le sollicitais.

Monsieur Pascal Bartout, Maître de Conférence à l'Université d'Orléans, pour ses nombreux et précieux conseils qui m'ont permis d'avancer ce travail de recherche.

Cette thèse n'aurait pu arriver à son terme sans le concours de l'Université d'Orléans et plus particulièrement de l'ensemble du Département de Géographie ainsi que le laboratoire EA 1210 CEDETE (enseignants, doctorants, personnels administratifs...) qui ont su me soutenir, m'accompagner et m'aider toutes ces années. Bien que travaillant à plus de 9000 km de l'ensemble de ces personnes, ils ont su être disponibles et répondre à mes nombreuses attentes et sollicitations.

Ce travail de recherche m'a aussi permis de rencontrer une multitude d'acteurs locaux intervenant dans des domaines plus ou moins en rapport avec ma thématique de travail. Ils ont su

apporter du temps et de l'intérêt afin de me permettre de comprendre les multiples enjeux de cette problématique. Parmi toutes ces personnes, je tiens à adresser des remerciements plus spécifiques à certains d'entre eux :

L'Académie de La Réunion, en particulier monsieur Tercé, IA IPR de SVT et Monsieur Benteux, IA IPR d'Histoire-Géographie qui ont cru en moi et ont mis à ma disposition divers matériels pour la réalisation de ce travail.

L'Office de l'Eau de La Réunion ainsi que MétéoFrance Réunion qui m'ont accueilli et ont su mettre à ma disposition les données nécessaires pour construire cette recherche.

La Direction de l'Agriculture et de la Forêt de Mayotte qui a répondu positivement à mes demandes et a accepté de partager ses bases de données.

La Central Water Authority et le Ministry Housing and Lands de Maurice qui ont accepté de m'accueillir durant mes campagnes de terrain et ont pris le temps de discuter des enjeux de cette problématique.

A ces acteurs principaux s'ajoutent les multiples intervenants locaux (associations, gestionnaires, usagers) sur la thématique de l'eau que mon immersion quotidienne m'a donné l'occasion de rencontrer. Nos discussions m'ont permis de construire mon analyse et de mieux appréhender les diverses composantes de cette question. Que tous ces acteurs plus ou moins anonymes soient remerciés pour leur collaboration.

La prospection de ces terrains d'étude, si réduits mais si vastes à découvrir n'aurait pu se faire sans l'aide de mes compagnons de sentiers (Manuel Ricard, Dominique Jourdy...) qui m'ont suivi tout au long de ces milliers de kilomètres de terrain malgré les aléas climatiques. Leur patience, leur soutien et leur intérêt pour mon travail m'ont permis de faire partager ma passion.

Enfin ce travail n'aurait pu se faire sans le soutien infaillible de celles qui occupent ma vie et mon quotidien, mon épouse Stéphanie Mathelin et ma fille Anaïs Mathelin. Elles ont su comprendre ma démarche et me laisser le temps d'aboutir ce travail avec patience et bienveillance. Je tiens aussi à remercier mes parents pour leur confiance et leur soutien tout au long de mes études. Ils ont su être attentif à mon travail et m'encourager dans les moments difficiles.

Au-delà des personnes citées, je tiens aussi à remercier tous ceux et celles qui ont pu m'aider directement ou indirectement à la réalisation de cette thèse. Même si leur nom n'apparaît pas dans ces remerciements, je tiens à leur témoigner toute ma gratitude.

Introduction générale

Le manque d'eau constitue un problème récurrent dans les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien. Bien que soumises à des climats tropicaux humides, ces îles connaissent des situations de stress hydrique du fait d'une importante croissance démographique. Les moindres variations climatiques peuvent avoir des conséquences dramatiques sur des territoires aussi exigus et dépendants. L'exemple de l'île Maurice traduit tout à fait cette situation car l'île a été confrontée à une sécheresse récurrente au cours des trois dernières années (2010-2011-2012)¹ du fait de fluctuations climatiques (baisse de 25% des précipitations annuelles). Le principal lac-réservoir de l'île, la Mare aux Vacoas qui alimente l'ensemble des plateaux intérieurs mauriciens (Quatre Bornes, Curepipe, Phoenix...) atteignait à peine 40% de son remplissage à la fin de la saison des pluies (Avril-Mai) en 2012. Les quelques pluies du reste de l'année ne suffisaient pas à compenser ce déficit et les réservoirs se vidaient inexorablement jusqu'à atteindre leur cote d'alerte (25% du remplissage) synonyme de restrictions (coupures de plusieurs jours, rotation des distributions..). Cette situation récurrente depuis 2010 a imposé au gouvernement mauricien une véritable réflexion sur sa gestion de l'eau (entretien des réseaux, interconnexion des réservoirs, création de nouveaux réservoirs..). Cette situation dramatique n'est pas caractéristique de la seule île Maurice mais se retrouve aussi dans une moindre mesure à La Réunion où des projets titanesques (projet de basculement des eaux², de transfert de bassins) tentent d'apporter des solutions aux mêmes problématiques et ainsi qu'à Mayotte à travers la construction de réservoirs lacs pour satisfaire des besoins grandissants.

Le sud-ouest de l'océan Indien (**fig.1**) constitue donc un territoire tout à fait exceptionnel pour mener une réflexion sur la problématique de la ressource en milieu insulaire. Dans ce contexte tropical, les contrastes de développement sur un espace si réduit, sont tout autant d'éléments ainsi que la diversité culturelle permettent d'effectuer des analyses croisées afin d'appréhender plus globalement cette problématique. Malgré ces situations de stress hydrique, les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien ne manquent pas de ressources en eau tant dans leur partie aérienne que souterraine. Cependant celles-ci sont souvent mal répartie (côte au vent/sous le vent) voire délicate à exploiter (forages souterrains). La présence de réseaux hydrographiques plus ou moins pérenns ainsi que de lacs constitue la preuve de cette ressource. Ces lacs insulaires apparaissent comme un objet géographique original par leur emboîtement d'échelle (un isolat dans un isolat) mais aussi par leur proximité avec un espace maritime avec lequel se développent des interactions spécifiques. D'origine naturelle ou anthropique, ces plans d'eau de taille très variable, de quelques hectares à

¹ Le Mauricien, 27/12/2011

² L'info.re, 06/07/2013

plusieurs centaines, offrent un potentiel de valorisation dans des territoires naturellement tournés vers l'espace maritime. Ils remplissent de multiples fonctions, sociales en tant que point de ressource en eau, écologique avec les nombreuses espèces endémiques qui s'y développent et enfin touristiques dans le cadre des activités nautiques que certains lacs proposent. Cependant leur place au sein des sociétés insulaires varie d'un territoire à l'autre, tantôt sacralisés ou du moins protégés, tantôt exploités ou laissés à l'abandon. Une réflexion sur les lacs insulaires et leurs spécificités permettrait d'en appréhender toute l'importance dans un contexte hydrologique si délicat.

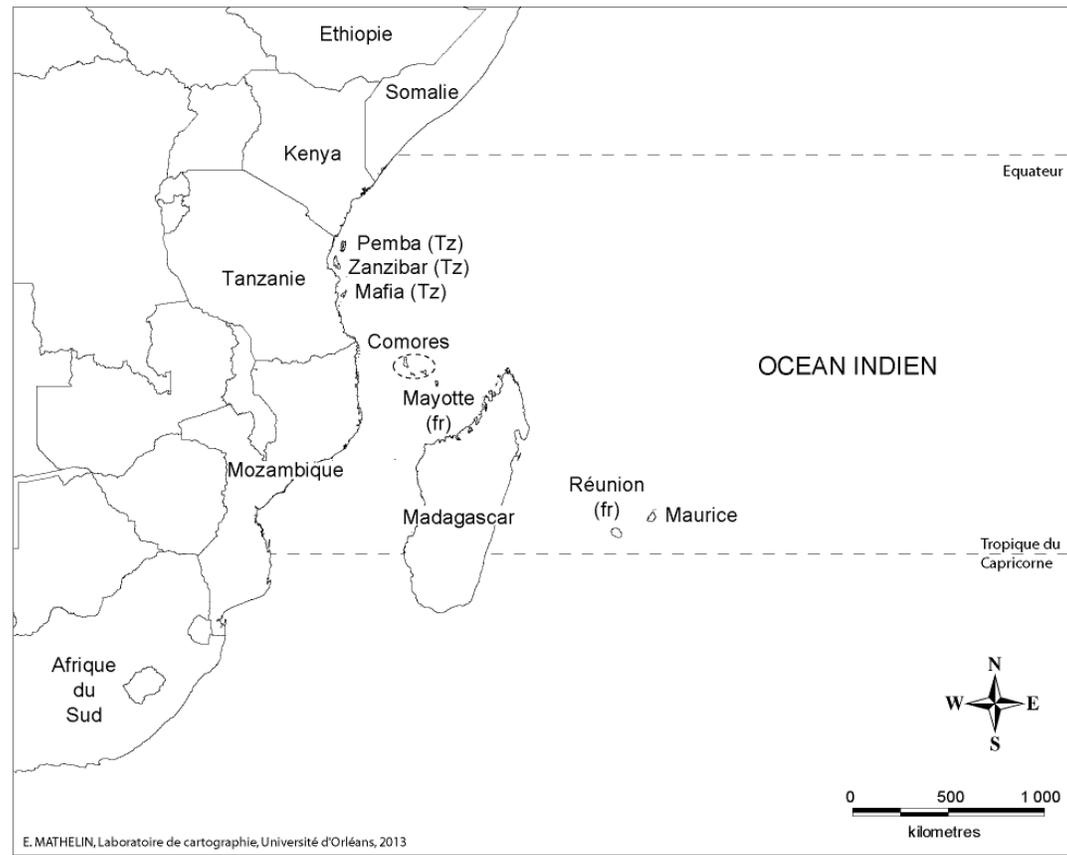


Figure 1 : Carte de localisation du sud-ouest de l'océan Indien

Les notions d'île et de lac nécessitent d'être définies afin que ces objets géographiques généraux s'inscrivent dans un contexte régional.

La réflexion à l'échelle insulaire impose de déterminer sur quel modèle va s'établir cette analyse. La notion d'île au sens strict "terre isolée de tous côtés par les eaux" (P.George) couvre un champ vaste de territoires, il apparaît donc essentiel d'affiner cette définition pour correspondre au mieux à la zone étudiée. En effet la région du sud-ouest de l'océan Indien dispose d'îles allant du simple

banc de sables à des îles-continent comme Madagascar. Ainsi F.Taglioni³ propose une définition plus précise qui permet de différencier les petits espaces insulaires des îles à dimension continentale. Les caractéristiques retenues pour les petits espaces insulaires correspondent à "des terres d'un seul tenant entourées d'eau de tout côté dont la superficie est inférieure à 11 000km² et la population inférieure à 1,5 millions d'habitants". L'ensemble des îles du sud-ouest de l'océan Indien s'inscrit dans cette catégorie des petits territoires insulaires. Seule Madagascar ne répond pas à ces critères, ce qui explique que cet espace ne sera pas évoqué dans ce travail. Le choix de ces petites îles à la fois suffisamment étendues pour la mise en place d'un réseau hydrographique mais possédant des caractéristiques propres pour se différencier des structures continentales est donc le plus représentatif de la région. De même l'éloignement relatif du continent et l'organisation en archipel (Mascareignes, Comores...) constituent des facteurs permettant la construction d'une identité insulaire. Les exemples de l'île Maurice, de La Réunion ou de Mayotte correspondent à ces choix.

Dans ces différents territoires insulaires, la présence de lacs constitue un trait d'union et une problématique de ressource commune. Ces lacs observables dans ces îles restent de taille modeste (de quelques hectares à plusieurs centaines d'hectares) à comparer aux immenses structures lacustres continentales (lac Baïkal, lac Tanganyka...). En effet la petite taille de ces masses d'eau, la présence de comportements proches de ces dernières permet de définir ces plans d'eau insulaires comme des lacs. Cependant la logique d'isolat d'eau douce constitue toute l'originalité de ces lacs dont certaines caractéristiques croisées (morphologie, rythme hydrologique, écosystèmes...) permettent d'envisager leur typicité. Ces derniers, véritable réserve d'eau douce en plein environnement maritime, constituent un objet géographique atypique.

Le contexte insulaire est structurellement marqué par des tensions liées au manque d'eau, ce qui exacerbe le rôle de ces lacs. Au delà de la simple nappe d'eau à intérêt écologique ou touristique, le lac apparaît aussi comme un point de ressource en eau indispensable. Cependant son nombre restreint impose aux sociétés insulaires d'en recréer pour satisfaire leurs besoins grandissants. Le lac insulaire devient donc une véritable entité géographique au cœur d'une problématique de développement territorial. Il apparaît donc indispensable d'en découvrir l'ensemble des facettes pour tenter de définir sa typicité et adapter au mieux la gestion de tels plans d'eau. Les formes de valorisation très hétérogène d'un territoire à l'autre constituent aussi une particularité de ces espaces. Une réflexion sur les logiques, les jeux d'acteurs et les stratégies nous permettra de mieux appréhender la place des lacs au sein de ces sociétés insulaires.

³ Taglioni.F, 2006

Ce travail de recherche va se décomposer en quatre temps essentiels.

La première partie va permettre de rappeler le contexte insulaire et tropical du sud-ouest de l'océan Indien et d'en identifier ses spécificités. Le contexte régional permettra aussi de faire apparaître la problématique commune de la ressource en eau douce qui provoque des situations de stress hydrique. Dans ce contexte si particulier, la présence de lacs insulaires, véritables isolats d'eau douce, constitue une originalité géographique. Nous nous efforcerons donc dans un premier temps de déterminer la place des lacs insulaires dans ce contexte et de comprendre dans quelle mesure, ils peuvent apporter des réponses aux problématiques de stress hydrique ?

Le deuxième temps de ce travail de recherche sera consacré à la présentation des méthodologies de recherche employées mais aussi à la détermination des terrains d'étude. A partir des recensements effectués, nous tenterons d'identifier les masses d'eau à caractère lacustre et dans quelle mesure celles-ci sont représentatives du sud-ouest de l'océan Indien. La détermination des terrains d'étude et leur représentativité aura pour finalité d'établir une classification, support essentiel à l'analyse des comportements lacustres. Ainsi nous pourrions identifier s'il existe un ou plusieurs types de lacs insulaires ?

Le troisième temps permettra l'analyse des structures et comportements lacustres à partir d'observations morphologiques, hydrologiques et biologiques. La compréhension du fonctionnement de ces lacs plus particulièrement les entités naturelles va être utile pour déterminer s'il existe ou non des spécificités propres aux lacs insulaires. Appréhender la justesse des comportements lacustres naturels permettra d'adapter la gestion des plans d'eau artificiels pour répondre au mieux aux besoins des populations. A partir de l'étude de différents terrains de recherche, nous pourrions nous demander s'il existe un modèle lacustre propre aux espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.

Le dernier temps de l'analyse permettra de réfléchir à la valorisation de ces lacs. Celle-ci est confrontée à la présence d'acteurs multiples (collectivités, associations, usagers...) aux enjeux complémentaires et parfois contraires. L'aménagement de ces lacs constitue un enjeu mais il répond avant tout à un contexte local (socio-économique, environnemental, rapport à l'eau des sociétés...). Cette dernière partie va donc tenter d'observer la gestion de ces lacs insulaires au travers de l'analyse de différents exemples. L'objectif étant de comprendre à quelles logiques répond la valorisation des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien. Comment ces plans d'eau sont-ils aménagés ?

Ce travail de recherche présente la particularité de travailler sur un objet géographique original : le lac insulaire dans le sud-ouest de l'océan Indien. Il constitue une entité au croisement de plusieurs thèmes et territoires géographique mais n'a connu à ce jour aucune recherche

spécifique. Ce travail s'inscrit avant tout dans le cadre de la Géographie limnologique dont l'objet principal est le lac et la compréhension de ses fonctionnements et interactions avec son environnement. Cependant il n'est pas envisageable de traiter des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien sans aborder principes et méthodes propres à la Géographie insulaire (insularité, isolat, endémisme...) mais aussi à la Géographie tropicale (climat, écosystèmes, civilisations...). Des croisements entre trois approches seront effectués autant de fois que cela est possible mais l'analyse limnologique constituera le support principal de ce travail.



**Photographie 1 : Le Grand Etang, un exemple caractéristique de lac insulaire
Cliché Mathelin, 2008**

1. L'eau et les lacs dans le contexte insulaire du sud-ouest de l'océan Indien

Le sud-ouest de l'océan Indien est une région tropicale insulaire spécifique marquée comme beaucoup de régions insulaires par la problématique de la ressource en eau douce. Les situations de stress hydrique ne sont pas liées au manque d'eau mais à son inégale répartition temporelle et spatiale. La présence au sein des réseaux hydrographiques de lacs constitue un outil de réflexion face à cette problématique.

Chapitre 1.1. Le sud-ouest de l'océan Indien, des territoires insulaires en mutation confrontés à la problématique de la ressource en eau.

Le sud-ouest de l'océan Indien est une région géographique à part entière malgré sa structure parcellaire. En effet son organisation sous forme d'archipels laisse envisager un éclatement de ce territoire mais l'Histoire, la géologie, les climats et les problématiques contemporaines de développement ont su unifier cet espace. La question de la ressource en eau constitue un véritable enjeu commun pour ces territoires en pleine mutation.

1.1.1. Une diversité de paysages insulaires façonnés par le volcanisme.

L'océan Indien autrefois appelé océan Oriental ou mer des Indes, est le 3^{ème} océan le plus vaste au monde avec plus de 75 000 000 km². Il est délimité au nord par la côte sud de l'Asie continentale, à l'ouest par la côte orientale de l'Afrique (côte swahili), au sud par l'océan austral et à l'est par l'Australie et l'Indonésie. Il regroupe quelques 218 espaces insulaires⁴ occupant plus de 1,389 millions de km² soit la 2^{ème} plus forte densité insulaire derrière l'océan Pacifique. La répartition des espaces insulaires est homogène avec une représentation équilibrée des modèles insulaires allant de l'île continent comme Madagascar (550 000 km²) à des atolls immergés comme celui de Bassas da India (0.2 km²). Une telle diversité tant dans la superficie que dans la structure géologique permet une analyse du fonctionnement de ces territoires.

Au sein de l'océan Indien, le sud-ouest de l'océan Indien (**fig.2**) est une zone regroupant cinq archipels majeurs (archipel des Seychelles, archipel des Mascareignes, archipel des Comores, archipel de Zanzibar et archipel de Chagos) avec une population supérieure à 3,8 millions d'habitants. Cette zone comprend aussi l'île -continent de Madagascar dont la superficie contraste

⁴ source : UNEP-ONU

fortement avec les autres espaces insulaires. L'étendue de Madagascar ainsi que son fonctionnement (géologie, climat, hydrologie, végétation, ...) proche des fonctionnements continentaux nous impose donc de dissocier ce territoire des autres îles du sud-ouest de l'océan Indien. Notre travail se concentrera donc sur les petits territoires insulaires au regard de la définition proposée par F.Taglioni⁵. Parmi les cinq archipels du sud-ouest de l'océan Indien (**tableau.1**), la diversité des modèles insulaires nous permet d'obtenir une représentativité allant des cordons sablonneux vides, conservés par les pays à des fins économiques (l'atoll immergé de Bassas Da India dont les parties émergées sont de 0.2km²) à des îles d'origine volcanique ou tectonique, véritables zones touristiques ou relais économique au niveau mondial (l'île Maurice). Ainsi sur le classement par taille des îles de la zone, on observe un véritable contraste au sein de la répartition. En effet un seuil de taille apparaît au niveau de 500 km² de superficie. En dessous de cette taille nous retrouvons plus de 98% des îles, preuve que le sud-ouest de l'océan Indien malgré son hétérogénéité, est principalement composé de petits espaces insulaires (inférieures à 500 km²)⁶.

Tableau 1 : Iles et archipels dans le sud-ouest de l'océan Indien

Nom	Superficie en km²	Nombre d'îles	Population en hab
Archipel des Mascareignes	4486	3	2 111 000
Archipel de Zanzibar	3200	75	770 000
Archipel des Comores	2236	4	892 180
Archipel des Seychelles	455	115	82 250
Iles éparses	44	5	0
Autres	NC	2	NC
Total	10421	202	3855430

⁵ Taglioni.F, 2006

⁶ Guébourg.J-L, 2006, p6-14

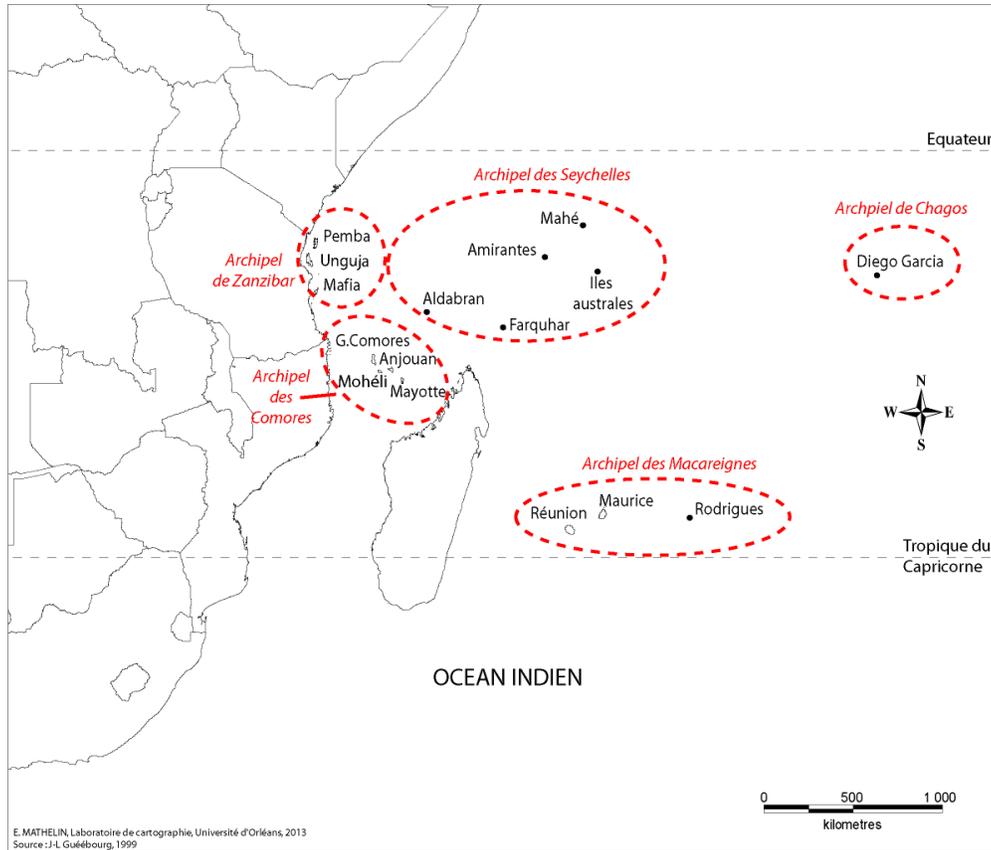


Figure 2 : Principales îles et archipels du sud-ouest de l'océan Indien

Cette diversité trouve son origine dans l'histoire géologique de cette région opposant deux types de volcanisme⁷ : le volcanisme inter-plaques et le volcanisme intra-plaque. Concernant le volcanisme inter-plaque, l'océan Indien dans sa partie occidentale est au contact de trois plaques tectoniques majeures : la plaque africaine à l'ouest, la plaque australienne à l'est et la plaque antarctique au sud. Entre ces plaques, les dorsales médio-océaniques se rejoignent en un point commun situé au sud-est de l'île de Rodrigues (**fig.3**). Le contact entre ces plaques correspond à un phénomène d'accrétion, c'est à dire un écartement des plaques les unes par rapport aux autres. D'après les travaux de Sclich⁸ et les différentes campagnes océanographiques, les vitesses d'écartement dans la zone varient selon les plaques, pour la plaque australienne, la plus active, celle-ci connaît un écartement moyen de plus de 7 cm par an soit l'une des vitesses d'écartement les plus rapides au monde après la plaque Pacifique. Concernant la plaque africaine et la plaque antarctique, leurs vitesses sont plus réduites car la première s'écarte de plus de 2 cm par an tandis que la seconde tourne sur elle-même. De ce contact inter-plaque résulte des remontées de magma à

⁷ Dars.R, 2005

⁸ Guébourg.J-L, 2006, op cité

l'origine de la formation d'îles d'origine volcanique (Rodrigues), certaines îles de l'archipel des Seychelles comme Mahé présentent aussi des faciès granitiques, preuve d'un métamorphisme en profondeur et pouvant émerger suite au phénomène d'accrétion. Au sein des grandes plaques tectoniques, un volcanisme intra-plaque se développe lié à la présence de points chauds. Les points chauds sont des anomalies thermiques présentes dans le manteau terrestre et qui peuvent perforer la lithosphère formant ainsi des volcans sous-marins qui émergent progressivement. La Réunion est un très bon exemple de ce mécanisme de points chauds avec le Piton de la Fournaise⁹, un des volcans les plus actifs au monde¹⁰. Au nord-ouest de ce volcan actif se trouve le point culminant de La Réunion, le Piton des Neiges, volcan endormi, preuve d'un volcanisme en mouvement.

Ce volcanisme se traduit directement dans les paysages insulaires. Couplé aux eaux chaudes tropicales, il favorise l'apparition de récifs coralliens. Avec la baisse de son activité, le volcan tend à s'enfoncer sur lui-même (**fig.4**), un récif frangeant se développe et parvient alors à émerger créant ainsi une barrière de corail autour du volcan. Après plusieurs millions d'années, le volcan disparaît dans les profondeurs marines et le récif corallien demeure formant un anneau de corail en plein océan. Ce type d'évolution se retrouve au sein de l'archipel des Comores où Mayotte est l'île la plus ancienne (9 millions d'années) avec un strato-volcan effondré en son centre une barrière corallienne entourant les restes du volcan¹¹. Le stade de l'atoll n'est pas encore atteint. Ce volcanisme actif ou hérité se retrouve aussi au sein des îles avec la présence de nombreux cratères dans lesquels des lacs ont pu s'installer. Ces dépressions fermées sont à l'origine de la création d'hydrosystèmes endoréiques mais aussi du développement d'écosystèmes isolés. Les exemples du lac de cratère Dziani Dzaha à Mayotte¹² (**photo.2**) ou le lac de Grand Bassin à Maurice constituent des situations tout à fait représentatives des modèles lacustres liés au volcanisme.

⁹ Atlas de La Réunion, 2003, p20-21

¹⁰ Source : Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) en charge du suivi du Piton de la Fournaise

¹¹ Graviou.R et Rançon.J-Ph, 2001, p9-12

¹² Graviou.R et Rançon.J-Ph, 2001, op cité

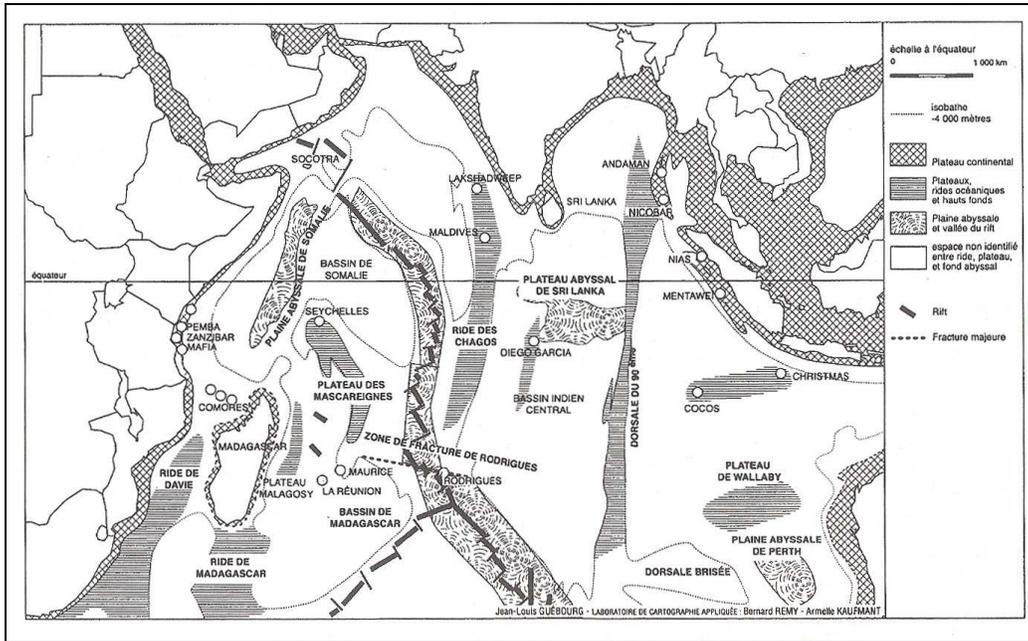


Figure 3 : Carte des fonds sous marins de l'océan Indien

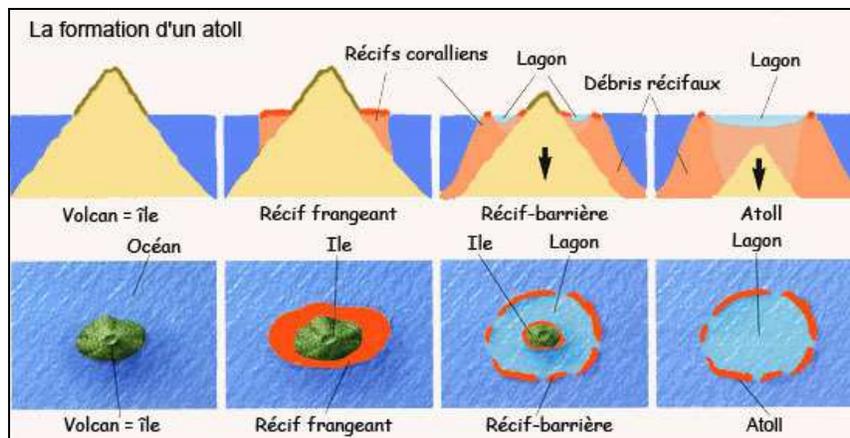


Figure 4 : La formation d'un atoll

Source : ac-reunion SVT



Photographie 2 : Vue aérienne du lac Dziani Dzaha (Mayotte)

1.1.2. La lente construction et différenciation des territoires insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.

Un bref rappel historique va nous permettre de comprendre la situation de ces territoires ainsi que le poids d'un passé colonial qui l'a largement influencé.

Ces espaces insulaires trouvent leur origine historique avec les grands découvreurs arabes qui furent les premiers à les décrire entre le VIII^{ème} et le XIV^{ème} siècle en effectuant un cabotage le long des côtes orientales de l'Afrique. Des cartes, plus ou moins précises et quelques récits comme celui de El Idrissi (1150) ou l'historien Ibn Battuta (1350) permettent de nommer ces espaces insulaires et de les décrire d'une manière sommaire¹³. Les premières cartographies, basées sur des travaux de l'Antiquité et des mesures effectuées par les navigateurs arabes, furent effectuées par les navigateurs portugais qui empruntaient cette zone dès le XVI^{ème} siècle afin de relier les Indes orientales, à la recherche des épices. Ces premières cartographies, bien sûr très approximatives mais satisfaisantes pour la navigation de l'époque, ont permis de localiser et de nommer ces nombreuses îles qui gardent encore aujourd'hui les traces de cette influence portugaise : Diego Garcia, Les Chagos, Mafia, Les Amirantes. L'atlas de D.Homem en 1559¹⁴ rassemble les connaissances de l'époque avec la cartographie des îles Mascareignes (Réunion et Maurice, Rodrigues...). Les Portugais demeurèrent dans l'océan Indien jusqu'à la fin du XVI^{ème} siècle mais ne réussirent jamais à s'implanter durablement pour dominer cet océan. A cette époque,

¹³ Guébourg, J-L, 2006, op cité

¹⁴ Guébourg, J-L, 2006, op cité

les îles ne sont pas alors habitées, elles restent des espaces totalement sauvages où les bateaux font quelquefois escale pour récupérer de l'eau douce.

Le début du XVII^{ème} siècle fut un moment fondamental pour la puissance hollandaise qui s'implanta à l'île Mauritius, en l'honneur du prince Maurice de Nassau. Cette présence hollandaise dans la zone se retrouve dans la toponymie de certains lieux comme Pieter Both ou Zaalberg. Par la suite, l'arrivée des Français et des Anglais dans l'océan Indien a poussé les Hollandais à quitter l'ouest de l'océan Indien. Cette période fut marquée par d'importantes guerres pour le contrôle des routes commerciales et l'attribution des territoires les plus productifs. La cartographie bénéficie de la présence de ces grandes puissances dans cet espace régional avec les réalisations de Flacourt (1653)¹⁵ (**fig.5**), de Feuilly (1710)¹⁶ puis De Nyon en 1722¹⁷ qui réalise la carte de l'île de France (**fig.6**) et le plan de Port Bourbon, il précise les tracés et fait apparaître sur ces cartes les rivières et les lacs. Ainsi des plans d'eau, appelés à l'époque Grand étang sur l'île Maurice deviendront par la suite la Mare aux Vacoas. Or dans ces conflits maritimes, la puissance anglaise s'affirma, ce qui lui permit de devenir les maîtres de l'Inde et de la majorité de l'océan Indien au début du XIX^{ème} siècle. Les grandes puissances profitent de ces périodes pour faire de ces îles de véritables points d'escales à l'instar de comptoirs dans lesquels les bateaux venaient récupérer des marchandises et des vivres. La cartographie ne cesse de s'améliorer au cours du XVIII^{ème} siècle avec des travaux comme ceux de Manneville¹⁸, cartographe de la puissante Compagnie des Indes qui a su par la technique de la triangulation obtenir des résultats tout à fait exceptionnels pour l'époque.

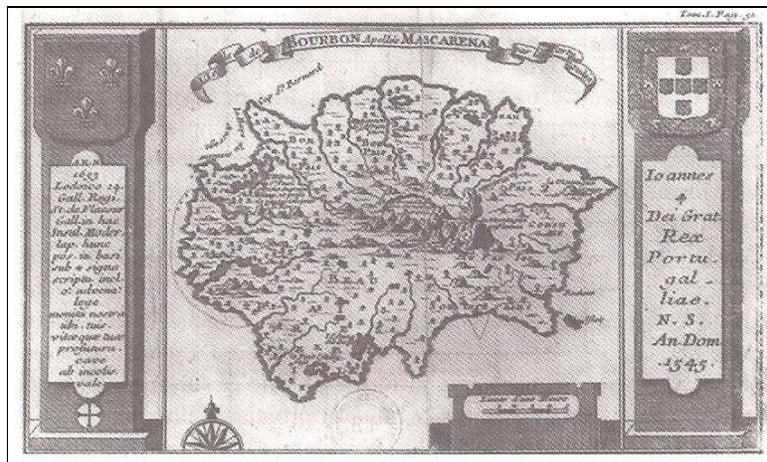


Figure 5 : Carte de Bourbon par Flacourt

Source : J-L Guébourg, 2006

¹⁵ Atlas de La Réunion, 2003, p17

¹⁶ Atlas de La Réunion, 2003, op cité

¹⁷ Guébourg, 2006, p60

¹⁸ Guébourg, 2006, p63

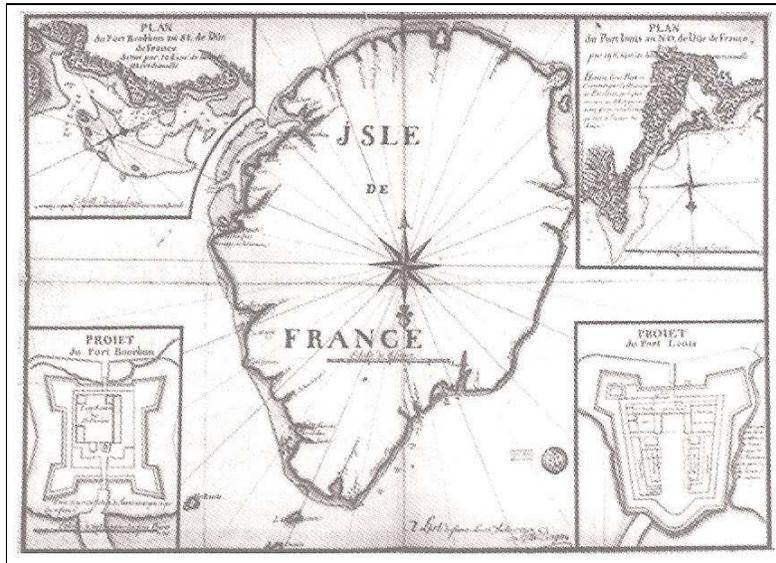


Figure 6 : Carte de l'Isle de France

Source : J-L Guébourg, 2006

Le XIX^{ème} siècle marque l'importance de la question coloniale. La cartographie, toujours en plein progrès permet une meilleure maîtrise de ces territoires. La carte réalisée par Lislet Geoffroy¹⁹ (fig.7) basée sur les travaux de La Caille, Chisny et Vigouroux montre les progrès scientifiques de l'époque avec l'utilisation de la longitude pour établir la position de l'île et des contours plus conformes à la réalité. Les grandes puissances se doivent d'exercer une colonisation réelle sur les territoires explorés pour en extraire les ressources. L'Angleterre étend alors son influence sur les côtes mais de plus en plus sur les îles adjacentes. A la fin du XIX^{ème} siècle, les pressions coloniales de la conférence de Berlin (1885) imposent aux grandes puissances d'exacerber leur domination sur les territoires qu'elles revendiquent. Ces empires coloniaux se développent et se modernisent. Les besoins en eau ne cessent d'augmenter comme le montre l'apparition à la fin du XIX^{ème} siècle du premier réservoir-lac de l'île Maurice, la Mare aux Vacoas, qui est construite en 1885²⁰ pour permettre aux populations de satisfaire des besoins domestiques. Depuis le milieu du XIX^{ème}, la France est en pleine reconquête de ces territoires perdus et réussit à reprendre sous sa coupe Mayotte (1841) Anjouan et Mohéli (1886) et Madagascar (1890) après une négociation franco-anglaise.

¹⁹ Guébourg, 2006, p71

²⁰ CWA,2011, p2

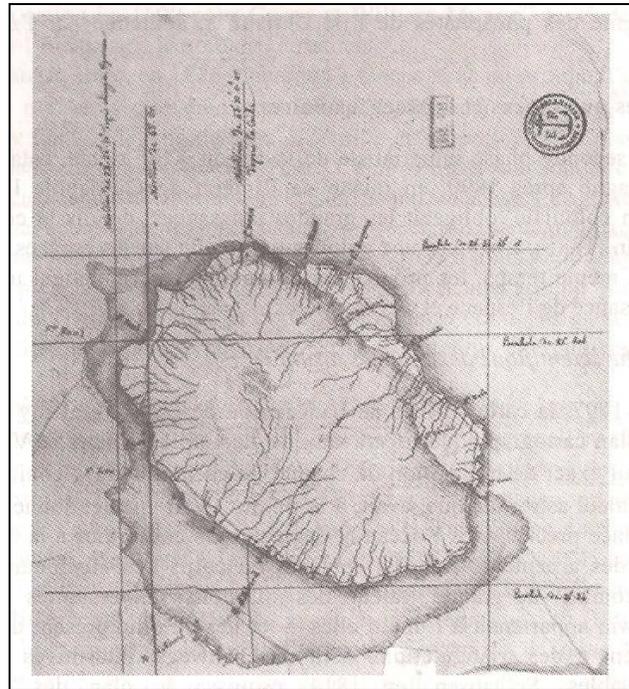


Figure 7 : Carte de l'île de La Réunion de Lislet Geoffroy

Source : J-L Guébourg, 2006

Le début du XX^{ème} siècle fut largement marqué par les deux grands conflits mondiaux. C'est principalement la Seconde Guerre mondiale qui va entraîner les plus profonds bouleversements avec des périodes de famines pour des îles comme La Réunion et les Comores, qui aspirent à des réformes pour la période post-1945. La vague de décolonisation débutant dans les années 1950 entraîna l'effondrement des principaux empires coloniaux et l'indépendance de nombreux états : Madagascar (1956), Maurice (1968), les Comores (1975), les Seychelles (1976)... Les choix politiques de l'époque ont partiellement dessiné le contexte actuel du sud-ouest de l'océan Indien. Des archipels comme les Comores traduisent tout à fait la situation avec des îles qui ont suivi des voies différentes. Cette situation se traduit aujourd'hui en partie par des niveaux de développement très contrastés et surtout en matière de ressource avec un inégal accès à l'eau douce et des politiques de gestion bien différentes. Aujourd'hui, la République des Comores, tout comme Madagascar ne peuvent survivre sans l'aide internationale et la mise en place de projets impulsant un micro-développement (création de micro-réservoir, achat de pompes pour des forages...). Cette situation contraste avec d'autres territoires comme Mayotte ou La Réunion dont le soutien de France et les crédits européens permettent de financer des projets d'envergure (projet de transfert des eaux, création de retenues collinaires de grande capacité...).

L'Histoire a ainsi contribué à façonner des îles bien différentes dont l'hétérogénéité actuelle constitue l'originalité de cette région. Cette différenciation s'accroît aujourd'hui par la construction progressive d'identité insulaire propre.

1.1.3. Le poids de l'identité insulaire dans les paysages.

La question de l'identité pour un territoire insulaire constitue un facteur fondamental (Bonnemaison)²¹. Elle permet d'expliquer certains comportements et certains choix d'aménagements de ces territoires²². L'identité insulaire, longtemps construite sur les composantes de l'isolement du fait de l'insularité, se trouve aujourd'hui remise en cause dans un contexte de mondialisation et de développement des territoires. La mise en place d'un insularisme se superpose à ce contexte naturel pour revendiquer les difficultés de vie au sein de ces territoires exigus. La nécessité de la construction d'une identité insulaire devient alors fondamentale pour se différencier des territoires continentaux. Dans les cas observés, cette construction identitaire se base principalement sur la religion et la langue.

L'identité de ces territoires s'est en partie construite dans la diversité religieuse (**fig.8**) liée à des migrations de populations successives. En effet dans cette zone de l'océan Indien coexistent 3 grandes religions monothéistes²³ : la religion hindouiste, la religion musulmane et la religion chrétienne. Cette mixité religieuse façonne des territoires polymorphes et d'entretient ses particularismes.

²¹ Bonnemaison .J, 1991, p119-125

²² Taglioni. F, 2010, p421-435

²³ Guébourg, 2006, p164-165

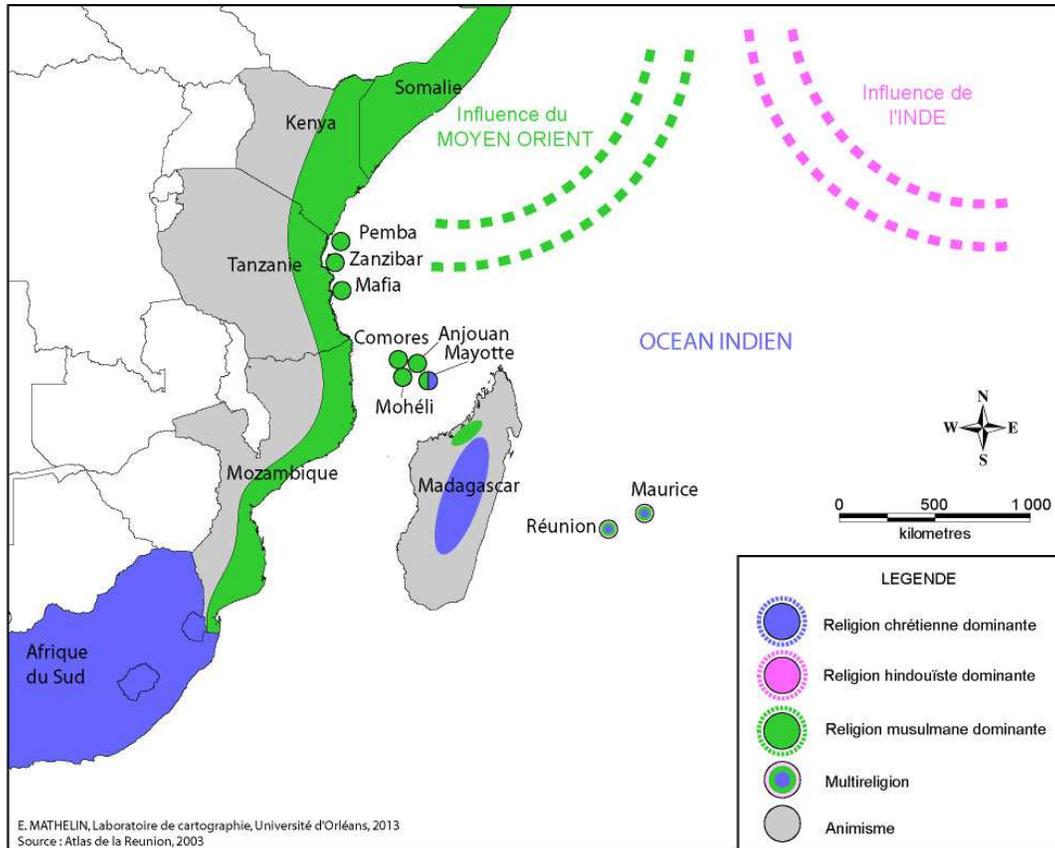


Figure 8 : Carte des principales aires religieuses et de leur influence dans le sud-ouest de l'océan Indien.

La religion musulmane doit son implantation aux grandes migrations arabes vers la côte africaine après l'Hégire, elle forme un vaste cercle englobant tout l'ouest de l'océan Indien²⁴. La religion musulmane se trouve très prégnante dans l'archipel des Comores qui en a fait une république islamique. Mais cette immense religion monothéiste coexiste avec de nombreuses pratiques animistes comme en attestent les multiples croyances inhérentes à certains lacs des Comores comme le lac Dziani Boundouni qui renfermerait un monstre²⁵.

Quant à la religion chrétienne, son implantation correspond aux îles colonisées par la France et l'Angleterre comme cela se retrouve principalement dans l'archipel des Mascareignes. Cette religion est intimement liée à la colonisation. Ainsi le territoire réunionnais est fortement marqué par l'influence chrétienne. Ainsi l'exemple de l'Etang Saint Paul, situé dans l'ouest de La Réunion correspond au nom de la commune qui est une référence directe à un saint chrétien. Une grande

²⁴ Atlas de La Réunion, 2003, p136

²⁵ Dans le lac Boudouni aux Comores, un Monstre habiterait le fond du lac provoquant périodiquement des remous. L'hypothèse qu'avance V. TILOT « serait que des remontées par percolation d'eau chargée de minerais et de gaz se produisent dans ce lac créant ainsi des sortes de monticules comparables aux cheminées hydrothermales abyssales associées à des phénomènes de volcanisme . . . ».

partie des noms des communes de l'île fait référence à des saints chrétiens (Saint Benoît, Saint Pierre, Saint Louis...).

Enfin la religion hindouiste se retrouve principalement sur les parties nord de l'océan Indien (Inde, Birmanie, Thaïlande...), son extension méridionale s'explique par les colons indiens venus s'implanter dans les îles sucrières après l'abolition de l'esclavage. Pour l'île Maurice, la religion hindouiste joue un rôle fondamental dans la construction de relations politiques avec l'Inde. La sacralisation de certains territoires en particulier des lacs comme celui de Grand Bassin (Ganga Talao en hindi) (photo.3) traduit tout à fait les relations privilégiées entre religion et la gestion des territoires (Carsignol-Singh.A)²⁶.



Photographie 3 : Statue de dieux hindous à Grand Bassin (Maurice)

Cliché Mathelin, 2008

Les langues constituent elles-aussi un élément caractéristique de la construction identitaire des espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien. Les migrations successives de population et le passé colonial ont contribué à la mise en place de multiples langages dans ces territoires. Ainsi plusieurs langues se côtoient sur une même île formant un multilinguisme. Parmi ces langues, un langage hybride régionale appelé le créole est né de la combinaison des langues vernaculaires et des langues véhiculaires (français, anglais) imposées la plupart du temps par les pays colonisateurs. La forme et la richesse de ce langage régional varient selon les espaces insulaires et même en leur sein. Le créole est souvent perçu comme un élément identitaire fort pour les populations locales qui s'en servent pour se différencier des populations issues des courants migratoires.

Ce multilinguisme marque fortement la toponymie locale et les différentes formes de langages qui ont marqué ces territoires. Ainsi à La Réunion, le nom des cirques de Cilaos, Mafate, Salazie correspondent à des termes d'origine malgache car ces cirques étaient des lieux de refuges pour les

²⁶ Carsignol-Singh.A, 2009, p21-23, 2009

esclaves évadés (esclaves marrons)²⁷ alors que les noms des principales villes situées sur le littoral (La Possession, Saint Denis, Saint Benoît) trouvent leur origine dans des épisodes historiques (prise de possession de l'île par les Français) ou dans une dévotion religieuse (principalement religion catholique). De même, la dénomination de certains éléments paysagers comme les plans d'eau ou les montagnes se trouve influencés par les langues régionales, ainsi un lac en mahorais est appelé « dziani » comme Dziani Dzaha à Mayotte, de même une colline ou une montagne en créole réunionnais est appelé un « piton » comme le Piton de l'Eau qui correspond à un ancien cratère abritant en son centre un lac.

1.1.4. Des populations en pleine croissance confrontées au manque d'eau.

Les îles du sud-ouest de l'océan Indien présentent pour la plupart des densités supérieures à 200 hab/km², ce qui en fait des espaces fortement peuplés. En effet, les densités rencontrées à l'île Maurice dépassent 639 hab/km² soit plus de 1 192 300 habitants sur un espace insulaire de 1 865 km², ce qui en fait l'une des îles les plus densément peuplées de la région. L'île de Mayotte avec 566 hab/km² (INSEE) permet de souligner cette caractéristique insulaire d'autant que la croissance forte de la population mahoraise (accroissement naturel 2,7%, INSEE, 2012) laisse entrevoir une accentuation forte de cette densité. L'île de La Réunion tout comme l'île principale des Comores présentent pour leur part des densités relativement plus modeste, s'il on compare avec leurs homologues, avec des valeurs respectivement de 334 hab/km² (INSEE) et 309 hab/km² (PNUD). Ces îles sont donc confrontées à des populations nombreuses et surtout à leurs évolutions. Cette problématique est d'autant plus inquiétante que les ressources, en particulier pour l'eau, risquent de s'avérer insuffisantes pour satisfaire de tels volumes de population.

Cette croissance des populations insulaires trouve plusieurs origines à la fois endogènes et exogènes. Du point de vue endogène, ces territoires sont marqués par des transitions démographiques inachevées et débutées à des rythmes inégaux. Ainsi à La Réunion, l'amélioration des conditions sanitaires et la diminution du taux de fécondité, soit 2.5 enfants par femme (INSEE, 2012), a permis de réduire la croissance démographique. Mais la population reste jeune ce qui assure une croissance continue pour La Réunion qui regroupait 808 250 habitants en 2011 (INSEE) et qui devrait atteindre vraisemblablement un million d'habitants d'ici 2025 à 2030 si les projections restent conformes²⁸. Cette croissance de la population couplée à l'élévation du niveau de

²⁷ Hatier international, 2003, p26

²⁸ Commissariat Général au Développement Durable, 2009

vie ne fait qu'accentuer les pressions sur la ressource en eau ; ainsi la consommation moyenne par foyer est très élevée par rapport à la métropole et aux autres départements d'outre mer français. Cependant cette croissance démographique des populations insulaires s'explique aussi par des facteurs exogènes comme l'importance de l'immigration. En effet les inégalités de développement économiques entre les îles incitent les populations les plus en difficulté à migrer vers des territoires plus attractifs. Cette situation se retrouve dans le cadre de l'archipel des Comores où les populations comoriennes voire originaires de l'Afrique continentale, profitent de la proximité de Mayotte, territoire français, pour effectuer une migration clandestine²⁹. La population présente à Mayotte se trouve donc constituée à plus de 40% par des populations étrangères avec d'importants comportements natalistes (INSEE). Dans ce contexte, l'augmentation de la population, ainsi que le développement économique de l'île expliquent les besoins croissants en eau potable depuis quelques années. La consommation d'eau est en progression régulière (+ 26 % entre 2002 et 2006) et s'est accrue de 5,7 % en 2006. Entre 2002 et 2006, la consommation moyenne par abonné a augmenté de 21 %, passant de 153 à 185 m³. La population est de loin le plus gros consommateur de l'île³⁰. Ces deux phénomènes permettent de mieux comprendre l'évolution des populations insulaires ainsi que les enjeux de la gestion de ces territoires en particulier pour la problématique de la ressource en eau.

A une croissance élevée des populations insulaires, s'ajoute son inégale répartition au sein de ces mêmes espaces (**fig.9**). Ainsi d'importants contrastes de densités apparaissent entre les zones littorales plus attractives et les parties intérieures souvent délaissées du fait des reliefs³¹. A La Réunion où la densité moyenne est de 334 hab/km² contre 115 hab/km² pour le territoire métropolitain, l'observation des densités laissent apparaître des contrastes importants, certaines parties intérieures comme le cirque de Mafate ont des densités inférieures à 50hab/km² voire se trouvent inhabitées du fait des risques qu'elles représentent comme l'enclos du Piton de la Fournaise à l'inverse les littoraux sont saturés avec des poches d'habitations dépassant les 2000hab/km² comme les communes de Saint Denis, de Saint Pierre, Le Tampon ou Saint Paul. Cette inégale répartition de la population est à coupler avec la ressource en eau douce à La Réunion. En effet la répartition n'est pas homogène tant sur le plan spatial que temporel. On constate que les micro-régions nord (Saint Denis) et est sont excédentaires vis à vis de leurs besoins tandis que les régions ouest (Saint Paul) et sud (Saint Pierre) sont en pénuries en fin de saison sèche (SDAGE Réunion). Autre élément, la difficulté d'accès à la ressource en eau tant à s'accroître avec l'altitude, ce qui pose des problèmes pour les populations contraintes d'habiter dans les parties hautes de

29 Barbey.A, 2009, p154-164

30 SDAGE Mayotte

31 Atlas de La Réunion, 2003, p46

l'îles, faute de place sur les littoraux comme dans le cas de la commune du Tampon. L'inégale répartition de la ressource en eau croisée avec celle de la population est créateur de situations de stress hydrique et nécessite de trouver des aménagements permettant de rééquilibrer ces manques.

Cette dichotomie littoral/intérieur se retrouve aussi pour l'île Maurice ou pour l'île de Mayotte d'autant que la présence de principaux centres urbains se situent sur les littoraux. De ces contrastes de population découlent des enjeux variés au sein d'un même espace insulaire. En effet la saturation des littoraux est créatrice d'importantes pressions anthropiques sur les écosystèmes les plus fragiles comme le lagon à Mayotte ou les plans d'eau côtiers de La Réunion avec la nécessité de réduire les éventuelles pollutions et limiter le mitage. A contrario, les espaces isolés constituent des zones favorables à la protection d'écosystèmes dont l'état de dégradation reste limité. Ces zones de faibles densités, souvent marquées par des contraintes naturelles fortes (relief, climat, risque) sont tout autant des zones de ressources indispensables au développement insulaire.

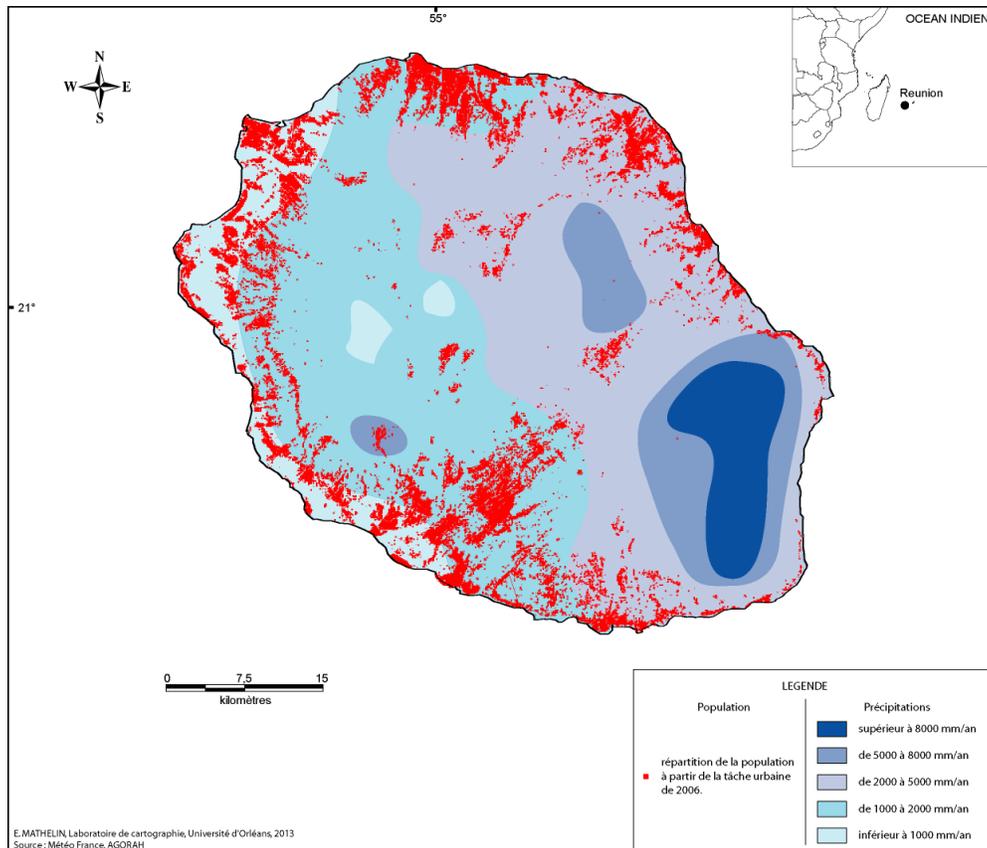


Figure 9 : L'inégale répartition eau-population dans une île tropicale, l'exemple de La Réunion

1.1.5. Les inégalités de développement et la question de l'eau dans le sud-ouest de l'océan Indien.

Le sud-ouest de l'océan Indien est une zone située en marge des grands flux générés par la mondialisation³². En effet sa position méridionale, qui par le passé a été un atout fondamental sur la route des Indes orientales, se trouve aujourd'hui en situation de marginalité. Le Moyen-Orient et l'Inde, véritable moteur de l'océan Indien sont situés à des distances bien trop importantes pour leur permettre de bénéficier d'un éventuel effet d'entraînement. La proximité de nombreux pays en grande difficulté et la situation assez instable de l'Afrique du Sud limitent les capacités de développement de cette région. En l'absence de véritable moteur économique et avec une hétérogénéité immense des situations, la construction d'une entente régionale est difficile voire impossible à long terme. Chaque pays envisage ses enjeux personnels sans tenir compte des éventuelles retombées négatives sur ses voisins. Dès lors les ententes régionales comme la COI (Communauté de l'Océan Indien)³³ sont peu efficaces du fait du manque d'échanges et de la volonté de chaque membre à penser son développement de façon individuelle³⁴.

Le sud-ouest de l'océan Indien est avant tout marqué par une hétérogénéité des territoires en matière de PIB/hab (**fig.10**), ce qui en fait toute son originalité. Sur une zone réduite s'opposent des îles marquées par une extrême pauvreté comme la Grande Comores (PIB/hab : 587\$, FMI) et des îles au niveau de vie favorisé comme La Réunion (PIB/hab : 8900\$, FMI). Une telle différence s'explique par les stratégies de développement et les héritages historiques. Devenues département français en 1946 pour La Réunion et en 2009 pour Mayotte, le soutien financier de la France à ces territoires permet d'entretenir un niveau de vie élevé pour une tranche de la population et de venir en aide aux populations défavorisées. Cette situation favorable n'est pas sans répercussions sur la gestion de la ressource en eau. En effet, le soutien financier de la France et implicitement de l'Union européenne (du fait des régions ultra-périphériques) permet la réalisation de projets d'envergure comme le basculement des eaux est-ouest. Le contraste est saisissant pour les Comores dont les indépendances prononcées en 1975 sonnaient le début d'un déclin économique et d'une instabilité récurrente pour les trois îles devenues indépendantes de l'archipel (Grande Comores, Mohéli, Anjouan). Le manque de moyens financiers empêche le développement d'une population toujours plus pauvre (PIB/hab : 645\$) avec des pénuries récurrentes en eau, électricité... Le pays ne dispose pas non plus de partenaires suffisants pour l'aider contrairement à l'île Maurice. Cette

³² Atlas de La Réunion, 2003, p126

³³ Atlas de La Réunion 2003, p130

³⁴ Bertile.W, 2006, p836-841

dernière a pourtant misé sur le développement touristique mais celui-ci ne profite qu'à une frange étroite de la population. Le système anglo-saxon se caractérise par un libéralisme économique et une absence de couverture sociale qui entretiennent une pauvreté massive de la population. Face à cette situation, le gouvernement mauricien a su trouver des partenaires pour lui venir en aide. Politiquement, le pays est très lié à l'Inde avec une imbrication du religieux et du politique comme l'attestent certains territoires avec la sacralisation du lac de Grand Bassin. Sur le plan économique, l'île Maurice s'est rapproché de la Chine et de territoires comme Singapour qui ont l'aidé à financer des projets d'envergure comme l'aéroport³⁵ ou encore le diagnostic singapourien sollicité pour certaines problématiques inhérentes à la gestion de l'eau³⁶.

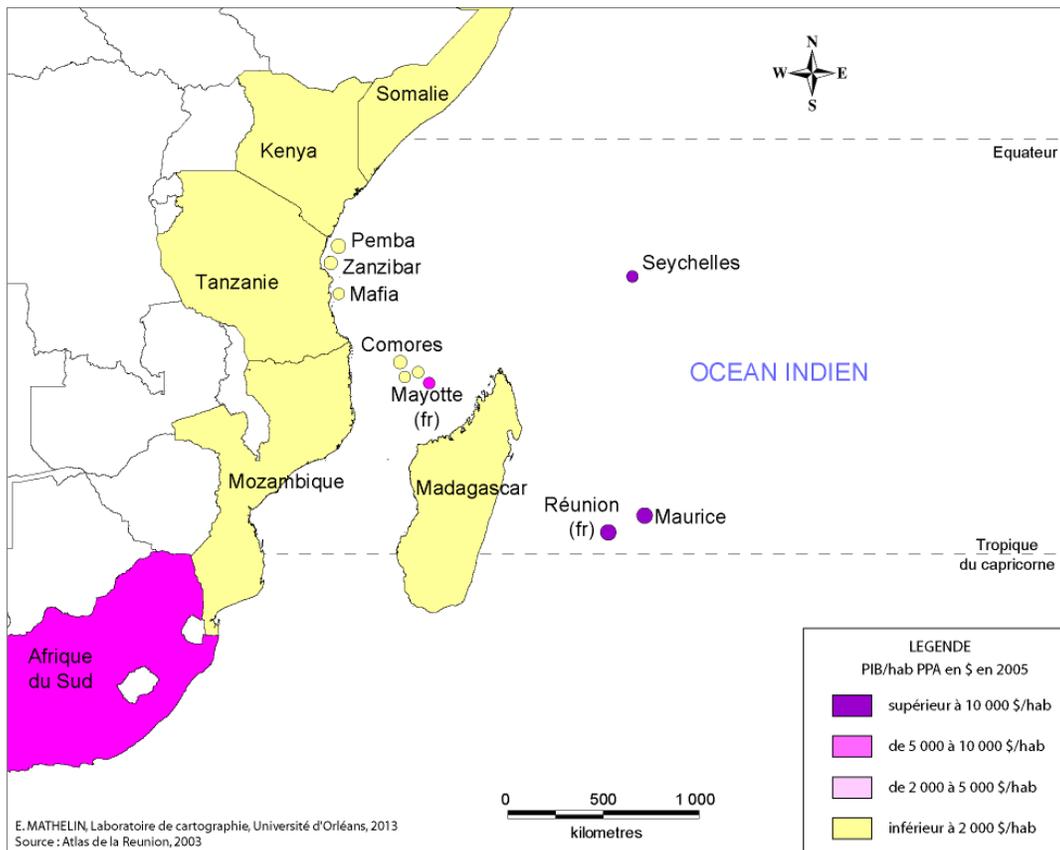


Figure 10 : Les inégalités de richesses dans le sud-ouest de l'océan Indien

Le sud ouest de l'océan Indien est donc un espace régional tout à fait caractéristique marqué tant par son unité historique que par sa diversité actuelle. La problématique de la ressource en eau constitue un trait d'union pour ces territoires exigus en mutation. L'analyse des différents

³⁵ Zinfo974, 18/02/2009

³⁶ Le Mauricien, 27/12/2011

hydrosystèmes insulaires va nous permettre de mieux comprendre la logique du cycle de l'eau dans ces espaces.

Chapitre 1.2. Le lac dans les milieux insulaires du sud-ouest de l'océan Indien, un marqueur des enjeux de la problématique de la ressource en eau.

L'Eau constitue un enjeu de développement fondamental pour les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien³⁷. La présence d'un cycle d'eau douce et de structures associées (rivières, lacs...) sur un territoire si réduit et dans un environnement maritime constitue toute l'originalité de cette recherche. Appréhender le fonctionnement de ces cycles et plus spécifiquement celui des lacs est l'objet de cette partie.

1.2.1. Le paradoxe de l'eau douce : les hydrosystèmes lacustres entre bienfaits et menaces

L'eau douce dans les espaces insulaires s'avère une ressource indispensable à l'occupation humaine du territoire mais elle peut aussi se révéler une source de risques et de nuisances importantes.

1.2.1.1. Bienfaits et usages des eaux lacustres.

L'eau douce est une ressource indispensable pour la survie sur un espace insulaire, ses multiples utilisations en montrent tous ses bienfaits.

L'eau douce trouve sa première utilisation dans la nécessité de satisfaire les besoins de consommation des populations présentes. L'accès à l'eau douce dans un milieu insulaire est souvent délicat du fait de l'accès difficile à la ressource³⁸ ou de son inégale répartition spatiale et temporelle. Pour réduire cette difficulté, le stockage de l'eau douce constitue la solution la plus aisée. C'est de cette logique que sont apparus les différents réservoirs d'eau douce présents sur certaines îles de la région, allant de la simple retenue collinaire aux immenses lacs-réservoirs. L'île Maurice avec ses divers réservoirs apparus depuis le XIX^e siècle (Mare aux Vacoas, Nicollière,

³⁷ Guébourg.J-L, 2003

³⁸ SDAGE du bassin Réunion 2010-2015, 2009

Mare Longue, Midlands...) constitue le meilleur des exemples³⁹. Ce système de stockage permet donc de s'affranchir de l'inégale répartition spatiale et temporelle de la ressource et offre une consommation en eau douce sur l'ensemble de l'année. Cependant cette consommation est très contrastée selon les espaces insulaires de la zone allant de consommation minimale (5 litres/hab/jour)⁴⁰ pour les Comores à des consommations excessives de plus de 270 litres/hab/jour pour La Réunion⁴¹. De tels écarts s'expliquent par les ressources disponibles mais aussi par l'approche culturelle de l'eau. Pour les Comores, le difficile accès à la ressource en eau et la culture musulmane sont des facteurs déterminants pour justifier cette faible consommation. L'absence d'un réseau de distribution étendu impose le recours aux bornes fontaines publiques et l'obligation de récolter les eaux de pluie. Pour La Réunion, la bonne gestion de la ressource (stockage et transfert) permet d'avoir d'une eau douce toute l'année, mais le gaspillage et le mauvais état du réseau de distribution expliquent avant tout cette surconsommation. Malgré des ressources abondantes au regard des volumes précipités (sup à 2000mm en moyenne), les populations de ces îles se voient contraintes à surveiller leur consommation en période de sécheresse comme ce fut le cas pour l'île Maurice en 2010 qui a dû restreindre l'accès à l'eau et organiser des systèmes de distribution tournante pour limiter la consommation, ce qui n'est pas sans susciter des tensions au sein de la population⁴².

Autre usage fondamental de l'eau : l'agriculture. Les pratiques agricoles en milieu insulaire, en particulier la culture de la canne à sucre, largement répandue, nécessite dans certaines zones le recours à l'irrigation. Le développement de cette culture destinée à la fabrication du sucre et du rhum a imposé à La Réunion l'augmentation des périmètres irrigués depuis 1970. Pour satisfaire les besoins liés à la canne à sucre, ces périmètres traditionnels ont été restaurés soit 12 000 ha auxquels devraient s'ajouter de nouvelles surfaces irriguées liées au basculement des eaux soit plus de 20 000ha supplémentaires⁴³. La création de retenues collinaires dans les hauts de l'île ont permis d'accroître cette capacité d'irrigation. De même, l'île Maurice a entrepris depuis le début du XXème siècle, la réhabilitation des réservoirs construits durant la colonisation et la construction de nouveaux réservoirs afin de répondre aux besoins grandissants. S'appuyant sur un réseau hydrographique pérenne, ces réservoirs sont alimentés en permanence, ils servent de point de départ à un réseau de canaux à vocation agricole mais aussi un réseau d'eau potable pour les grandes

³⁹ CWA, 2011

⁴⁰ Guébourg.J-L, 2003, op cité

⁴¹ Atlas de La Réunion, 2003, p36

⁴² Le Mauricien, 5/06/2011

⁴³ Atlas de La Réunion, 2003, p36

villes. La construction récente de nouveaux réservoirs (Midlands et Bagatelle) a pour but de développer les réseaux de surface afin de limiter les pompages.

L'eau est utilisée aussi pour l'hydroélectricité, la part de la production hydroélectrique oscille entre 8 et 10% à La Réunion et Maurice. Les premières installations hydroélectriques du sud-ouest de l'océan Indien datent des années 1900 avec l'usine de Tamarin Falls à Maurice complétée dans les années 1950 par une série de sept autres unités. La Réunion fut la seconde île à s'équiper avec la construction des barrages de Takamaka I et II (1968-1989)⁴⁴ (**photo.4**). Ces deux lacs de barrages ont été complétés par d'autres infrastructures comme la centrale de la Rivière de l'Est à Sainte Rose qui réalise un turbinage des eaux de la commune captées dans les Hauts et permet la production de trois tranches de 21MW, ce qui en fait le premier centre hydroélectrique de La Réunion.



Photographie 4 : Vue du barrage hydroélectrique de Takamaka I (Réunion)

Cliché Mathelin, 2011

Enfin l'eau douce peut faire l'objet de croyances religieuses fondamentales comme celle que l'on observe à l'île Maurice autour du lac sacré de Grand Bassin (Ganga Talao), lieu de culte de la religion tamoule. Ce lac de caldeira étroit dont la profondeur est inconnue abrite plusieurs temples dédiés à des divinités tamoules dont la principale est Shiva avec une statue monumentale qui surplombe le lac. Ce lieu est connu comme étant miraculeux du fait de certains événements ayant pu s'y produire. Les tamouls parlent de phénomènes de hautes eaux ayant ennoyé l'ensemble des temples. Ce lac est aussi un lieu de prière car il accueille une fois par an une cérémonie de plusieurs jours rassemblant plus de 400 000 personnes venues de toute l'île, lors de la fête de Maha Shivaratee. Ce rassemblement constitue la plus grande fête tamoule de tout le sud-ouest de l'océan Indien⁴⁵.

⁴⁴ Guébourg, J-L, 2003, op cité

⁴⁵ Guide du Routard de l'île Maurice, 22/02/2008

1.2.1.2. Les hydrosystèmes lacustres, source de menaces.

L'eau douce dans les espaces insulaires peut aussi représenter une multitude de menaces diverses et variées.

Parmi les dangers liés à l'eau douce, le plus connu et le plus fréquent correspond aux inondations et à leurs conséquences. En effet en milieu tropical humide, les saisons des pluies donnent d'importantes précipitations abondantes et soudaines qui saturent rapidement les sols et favorisent des écoulements de surface abondants et soudains. Le passage des dépressions tropicales correspond à cette saison de fortes pluies avec quelques phénomènes exceptionnels liés à la présence de cyclones. Sèches une partie de l'année, les zones concentrant les écoulements, communément appelées « ravines », se gonflent d'eau et peuvent déborder lorsque les pluies sont trop abondantes. Par habitude les populations éloignent leur construction des ravines mais la pression foncière et le non-respect du code de l'urbanisme poussent à la réalisation de constructions dans ces zones dangereuses. Ainsi sur la commune de Saint Paul à La Réunion, la densité des habitations est telle que certaines zones inondables ne sont plus respectées. Lors de pluies abondantes, les ravines alimentant le lac Etang de Saint Paul, gonflent et font augmenter brutalement le niveau du plan d'eau. Le cordon littoral ne pouvant évacuer si rapidement ce nouveau volume d'eau, favorise à son tour l'augmentation du niveau du lac qui déborde et envahit régulièrement certains quartiers (quartier de la grande fontaine, la tour des Roches, quartier de l'étang)⁴⁶. La situation revient rapidement à la normale après quelques heures ou lorsque les instances communales décident de rompre le cordon littoral en utilisant des machines de travaux publics.

L'eau incarne aussi un danger lorsque celle-ci se trouve associée à d'autres éléments. Ainsi les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien se caractérisent par la jeunesse de leurs reliefs. Cette jeunesse se traduit par des mouvements de terrains fréquents. Certains peuvent être même soudains et volumineux lorsque se produisent des éboulements. La menace devient d'autant plus importante au moment où ces accumulations rocheuses obstruent l'écoulement d'une rivière ou d'une ravine provoquant la formation d'un lac temporaire. Le plan d'eau en lui-même ainsi formé ne présente pas pour autant de danger mais l'éventuelle rupture du barrage libérant la masse d'eau risque d'entraîner une coulée boueuse soudaine, violente et meurtrière. Un tel scénario correspond à la situation rencontrée sur la commune de Saint Joseph à La Réunion dans la rivière des Remparts

⁴⁶ L'info.re, 04/02/2010

(**fig.11**) où un éboulement de 50 millions de mètres cubes en 1965 au niveau du village de Mahavel a obstrué la rivière. L'immense lac temporaire ainsi formé menaçait directement la ville de Saint Joseph en aval dont une partie se situe dans le lit de la Rivière. L'intervention des autorités locales avait permis d'éviter la catastrophe. Depuis, ce site fait l'objet d'un suivi régulier par le BRGM⁴⁷.

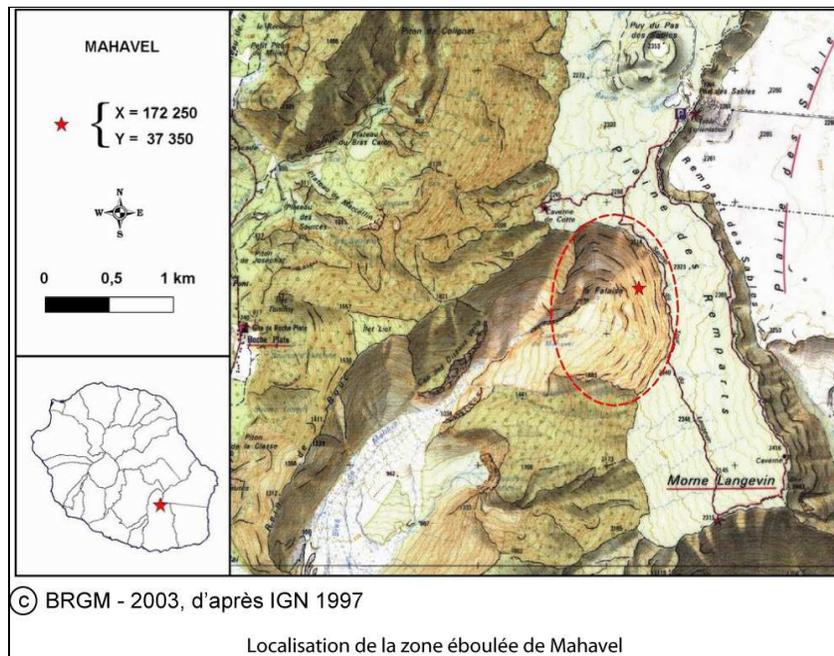


Figure 11 : L'éboulement de Mahavel

L'eau peut jouer aussi un rôle dans le domaine sanitaire. Bien que connue pour les vertus curatives de certaines sources, l'eau est aussi un support et un vecteur de maladies dans certaines conditions. Lors de la crise de chikungunya à La Réunion en 2006, les moustiques vecteurs de la maladie utilisaient les points d'eau pour se reproduire, ainsi chaque zone humide était susceptible d'abriter des gîtes larvaires. Le nettoyage, la démoustication voire l'assèchement des points d'eau furent donc des priorités afin de lutter contre la propagation des maladies. Les points d'eau, lieux habituels de détente durant l'été austral se révélaient alors brutalement insalubres et furent rapidement désertés par les populations. Ainsi certains plans d'eau côtiers comme l'Etang Saint Paul, l'Etang Bois Rouge, l'Etang du Gol à La Réunion vont constituer des lieux stratégiques pour le traitement des gîtes larvaires.

⁴⁷ BRGM, 2011

L'eau douce dans les espaces insulaires est donc une ressource tout à fait indispensable dont les dangers sont connus. Cependant, comme nous l'avons vu la présence de cette eau douce est conditionnée par des climats insulaires bien spécifiques.

1.2.2. Des hydrosystèmes lacustres rythmés par des climats tropicaux.

Du point de vue climatique, le sud-ouest de l'océan Indien présente une unité climatique intéressante. Il appartient à la zone tropicale avec des climats tropicaux humides influencés par les alizés. Cette influence des alizés ainsi que les régimes pluviométriques vont permettre de délimiter climatiquement la zone d'étude (**fig.12**). Au sud de la zone, le Tropique du Capricorne délimite la transition avec la zone tempérée tandis qu'au nord l'allongement de la saison des pluies et l'apparition de deux optimum pluviométriques marquent le passage à des climats de type équatorial. A l'est de la zone, l'apparition des alizés et de leur influence marque la fin des climats arides et semi-arides de l'ouest australien. A l'ouest, la zone est délimitée par le contact avec le continent africain qui subit l'influence des alizés sur ses côtes avant de connaître une modification des conditions climatiques du fait de la continentalité.

La zone intertropicale humide se définit par des climats dits « toujours chauds » selon Godard et Tabeaud⁴⁸, il n'y a pas de saisons thermiques marquées car c'est la pluviométrie qui sert de référence pour définir une éventuelle saisonnalité. Cette zone intertropicale humide, plus ou moins délimitée par les deux tropiques est caractérisée selon Jean Demangeot⁴⁹ par une température mensuelle minimale supérieure à 18°C, une amplitude thermique quotidienne supérieure à l'amplitude thermique annuelle (règle de C.Troll) et des précipitations suffisantes pour permettre des cultures non irriguées (règle P.Gourou). Cette définition, basée sur des critères principalement climatiques, s'applique pour un raisonnement à l'échelle globale. En effet à l'échelle régionale, on constate des variations climatiques au sein de la zone intertropicale. La proximité de l'Equateur tend à accentuer les volumes précipités du fait de la convergence intertropicales (CIT). Au niveau de la CIT, les climats sont marqués par des précipitations réparties sur l'année ce qui réduit l'existence d'une saison sèche tandis qu'à l'approche du Tropique du Capricorne, la saison des pluies se rallonge sous l'influence des alizés pour ne former plus qu'une seule saison alternant avec une phase sèche, le climat devient alors (monomodal). La zone intertropicale est donc marquée par une hétérogénéité des climats caractérisée par une répartition nord-sud autour de l'Equateur.

⁴⁸ Godard.A et Tabeaud., 1998, p156-160

⁴⁹ Demangeot, J, Tropicalité, 1999, p3-10

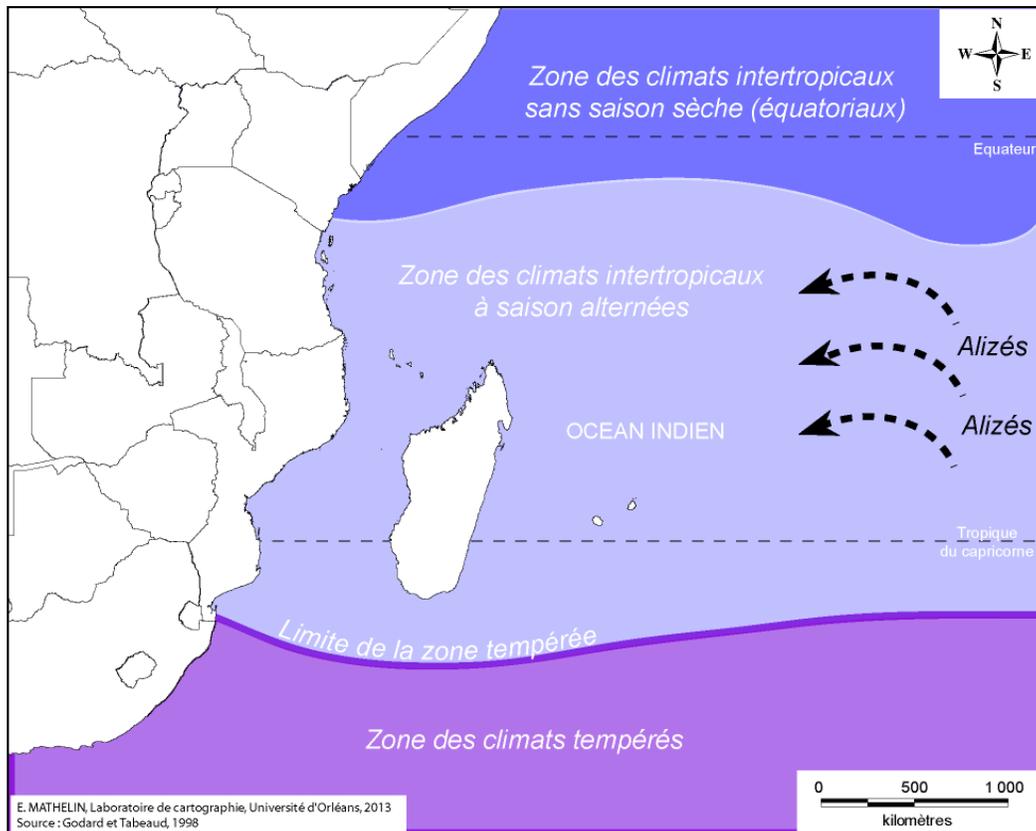


Figure 12 : Carte de la zone climatique du sud-ouest de l'océan Indien

Le sud-ouest de l'océan Indien présente pour sa part un climat tropical humide spécifique dit de façade orientale de continent (Godard et Tabeaud)⁵⁰, c'est à dire un climat tropical à alternance saison sèche/saison des pluies où les alizés commandent le régime pluviométrique (**fig.13**). Les alizés sont des vents d'est des basses couches de l'atmosphère, caractéristiques des zones tropicales. Ils sont relativement stables au-dessus des océans, n'apportant que de faibles précipitations. Or, au contact des côtes et principalement des obstacles topographiques, ces alizés déversent d'importants abats d'eaux sur les terres du fait de leur saturation en vapeur d'eau. Ce climat de façade orientale présente une saison des pluies souvent longue (4 à 6 mois) et un nombre de mois secs très faible (1 à 2 mois). Il est qualifié de monomodal (classification de Leroux, 1989)⁵¹, c'est à dire avec un optimum pluviométrique basé sur le solstice d'été de l'hémisphère et un minimum sur le solstice d'hiver. La saison des pluies correspond aux périodes de l'année où les températures sont les plus élevées, cette saisonnalité climatique se retrouve parfaitement dans les rythmes hydrologiques des lacs insulaires avec d'importantes variations de la masse d'eau liées au remplissage du lac dont le niveau va progressivement s'abaisser avec la saison sèche. La saison des pluies suivante permettra

⁵⁰ Godard.A et Tabeaud.M, op cité, p159

⁵¹ Leroux.M., 1989, Vol.2, p163-170

un nouveau remplissage. Le plan d'eau du Grand Etang à La Réunion, sur la côte exposée aux alizés traduit tout à fait ses rythmes de remplissage et d'assèchement progressif⁵².

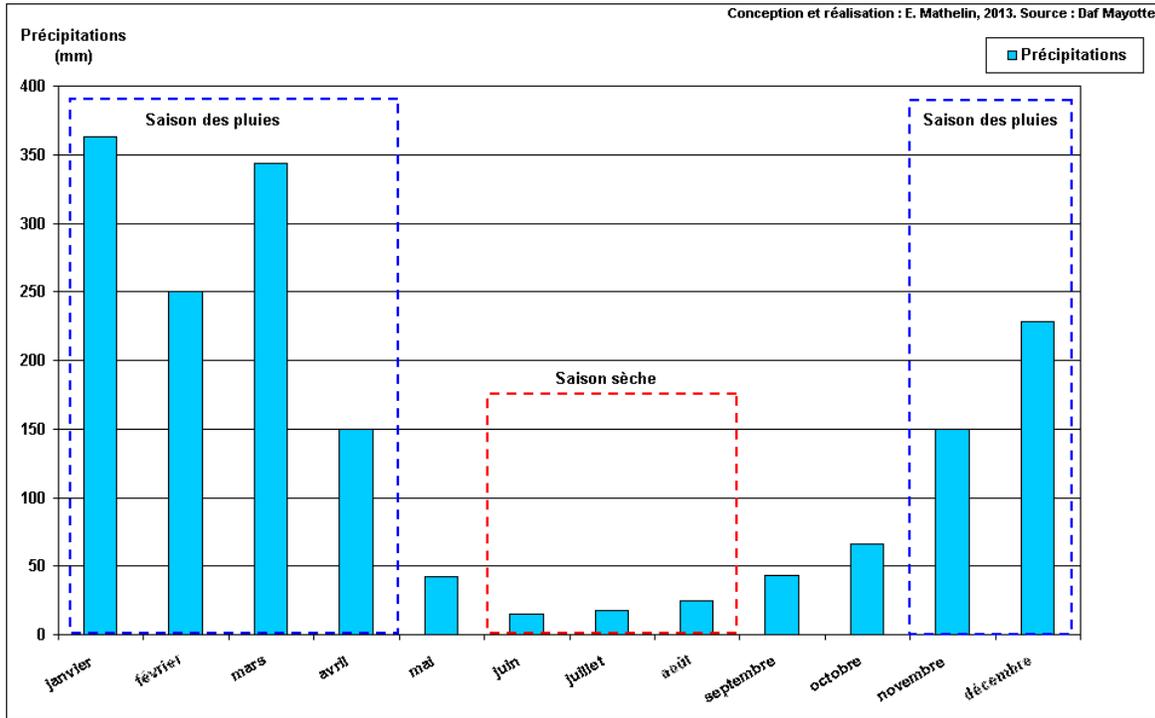


Figure 13 : Diagramme pluviométrique de Dzoumogné (Mayotte)

L'océan Indien, tout comme la majorité des océans tropicaux est affectée par des cyclones qui constituent des épisodes climatiques exceptionnels pouvant bouleverser totalement les régimes pluviométriques d'une île. Les cyclones sont des phénomènes de basse pression se formant au-dessus d'océans chauds⁵³. Un cyclone fonctionne comme une machine à vapeur (fig.14), recyclant la chaleur latente du cycle évaporation-condensation. Le développement des cyclones nécessite que la surface des océans soit suffisamment chaude (seuil thermique minimum de 26.5°C). De telles températures océaniques ne se retrouvent dans le sud-ouest de l'océan Indien que durant la période estivale, c'est à dire de décembre à mars (été austral). Les systèmes cycloniques ainsi formés ont des dimensions variables selon l'intensité des phénomènes, par exemple Gamède a atteint une envergure supérieure à 1000km au moment où il frappe les Mascareignes en 2007 (MétéoFrance). La dangerosité de ces phénomènes est liée avant tout aux vents associés pouvant atteindre plus de 200km/h mais dont les rafales maximales sont rarement mesurées du fait de la fréquente destruction des engins de mesure lors de ces épisodes. A ces vents violents et destructeurs s'ajoutent les précipitations exceptionnelles qui peuvent s'accumuler au moment des cyclones, La Réunion

⁵² Mathelin.E, 2007,

⁵³ Demangeot.J, 1999, op cité, p26-30

possède en cela d'impressionnants records mondiaux comme celui du cyclone Hyacinthe en 1980 qui a entraîné une variation de plus de 6083mm en 15 jours dont plus de 1170mm en 12h sur les régions les plus touchées de La Réunion (MétéoFrance). Ces précipitations abondantes ne sont pas sans conséquences sur les hydrosystèmes qui débordent le plus souvent et connaissent d'importantes phases de morphogénèse durant ces épisodes exceptionnels. Pour les lacs, les variations de niveau peuvent être brutales, ainsi le cyclone Diwa touchant La Réunion du 4 au 7 mars 2006 a provoqué une augmentation de près de 10m (9,4 à 19,39m)⁵⁴ du niveau du Grand Etang, modifiant complètement le paysage lacustre.

Ces climats de type tropical humide permettent aux îles de disposer d'une ressource en eau conséquente à condition de pouvoir stocker une partie des volumes précipités. Faute de stockage, ces pluies vont alimenter de nouveau le cycle de l'eau insulaire.

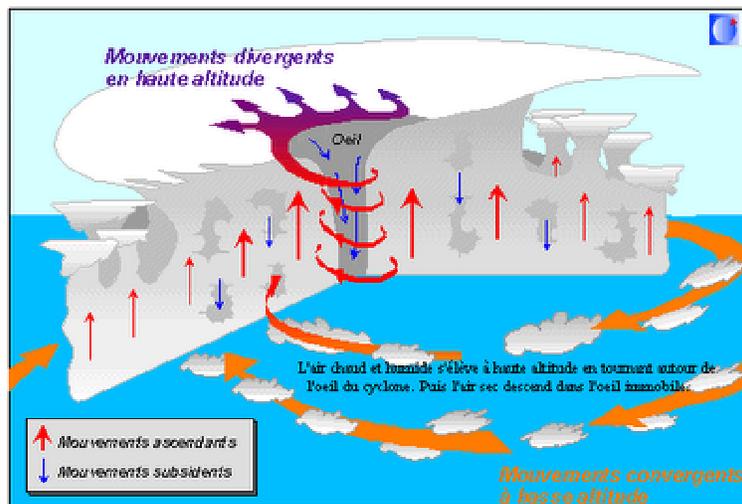


Figure 14 : Formation d'un cyclone tropical

Source : MétéoFrance

1.2.3. Le cycle de l'eau dans les espaces insulaires, l'exemple du cycle lacustre.

Le cycle de l'eau en milieu insulaire correspond à un cycle souvent très court du fait de l'étroitesse des territoires. Cependant il paraît indispensable de dissocier les grandes phases de ce cycle (**fig.15**).

⁵⁴ Source : Office Locale de l'Eau Réunion

1.2.3.1. Les précipitations, principal apport pour les lacs.

Dans le cycle de l'eau douce, les précipitations constituent un point d'entrée. Elles sont liées à la présence d'alizés maritimes qui se chargent en eau au-dessus de l'océan Indien. Au contact des surfaces terrestres, une partie des eaux accumulées se déverse sur les flancs des îles. Cependant les répartitions spatiale et temporelle des précipitations sont inégales. En effet selon les îles, les écarts sont très nombreux entre les 6000mm alimentant le barrage hydroélectrique de Takamaka à La Réunion (MétéoFrance) et les 300mm dans les îles Eparses. De tels écarts de précipitations d'une île à l'autre voire au sein d'une même île (côte au vent/côte sous le vent) s'expliquent en partie par la configuration topographique mais aussi par l'exposition aux alizés qui favorisent l'apparition de micro-climats.

La configuration topographique des îles influence donc les précipitations⁵⁵. Dans le cadre d'îles basses (altitudes faibles et sans relief, de type corallien) comme on le retrouve pour les l'île Maurice avec un point culminant à 828m, les précipitations sont réduites par rapport aux autres îles avec une moyenne annuelle de 1993mm⁵⁶. L'absence de reliefs majeurs ne permet de retenir les flux nuageux qui pourraient déverser une partie de leur charge en eau sur les côtes. La nécessité de retenir ces quelques pluies par la réalisation de réservoirs est à l'origine de la création de lacs artificiels (Mare aux Vacoas, Midlands, Mare Longue, Piton du Milieu...) dans les régions centrales les plus pluvieuses de l'île. Ce phénomène est d'autant plus marqué que les reliefs diminuent, ainsi certaines îles coralliennes comme les Seychelles reçoivent des volumes bien inférieurs à 1000mm par an. Ces îles souffrent donc d'un déficit de précipitation qu'elles doivent compenser par des prélèvements dans les ressources souterraines si cela est possible. Pour les îles hautes (altitudes moyennes ou élevées, de type volcanique ou continental) comme La Réunion ou les Comores, la moyenne des précipitations est souvent plus élevée du fait des reliefs. Par exemple La Réunion reçoit tous les ans en moyenne 2641mm⁵⁷. Le relief très accidenté et disséqué de La Réunion favorise des précipitations plus abondantes dont les totaux peuvent dépasser allègrement les 6000mm dans les régions les plus élevées de l'île (**tableau.2**).

⁵⁵ Demangeot.J, 1999, op cité, p282-284

⁵⁶ Atlas pédagogique de Maurice

⁵⁷ Source : MétéoFrance

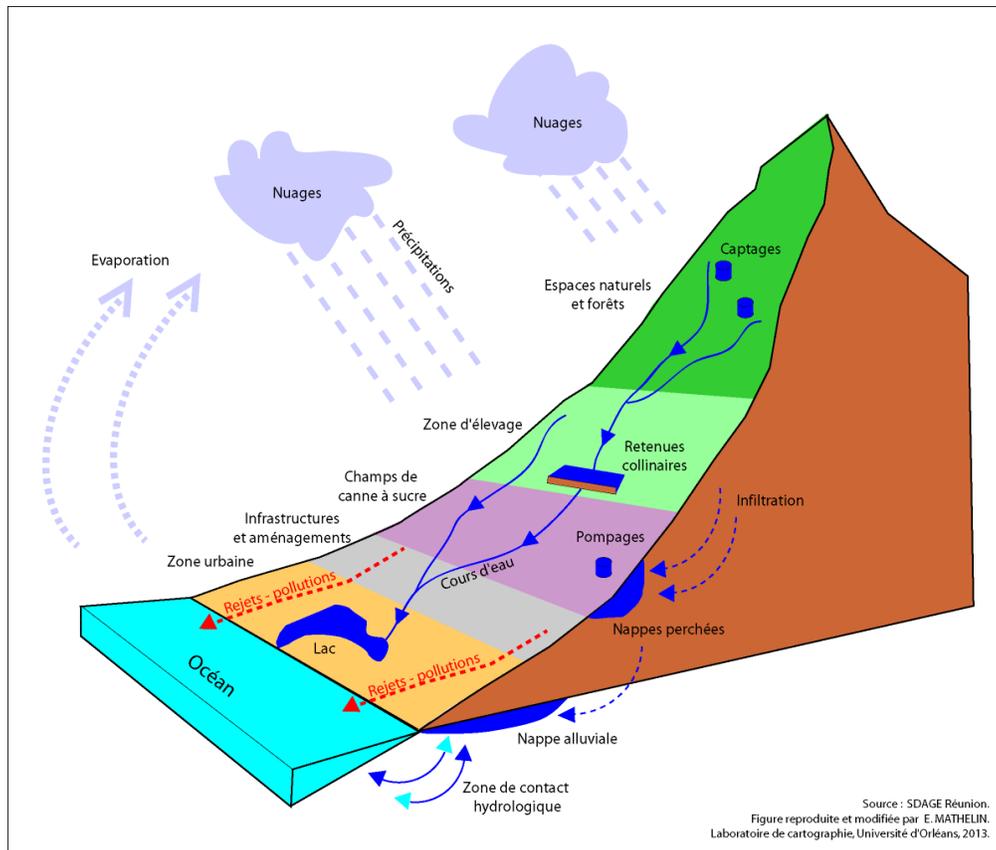


Figure 15 : Schéma du cycle de l'eau en milieu insulaire, l'exemple de la façade occidentale de La Réunion.

Tableau 2 : Mise en relation de la topographie insulaire et des précipitations

	Altitude maximale	Typologie	Volumes précipités
Comores	2361m	Ile haute	2679 mm
La Réunion	3069m	Ile haute	2641 mm
Seychelles	906m	Ile basse	2013 mm
Maurice	828 m	Ile basse	1993 mm
Mayotte	660m	Ile basse	1500 mm

Source : IGN, Météofrance

A la configuration topographique de l'île s'ajoute une opposition de façade concernant les espaces insulaires. En effet l'exposition aux alizés d'est favorise les précipitations sur certaines façades tandis que celles à l'abri des alizés sont moins arrosées comme le décrivent A.Godard et M.Tabeaud pour l'île Maurice⁵⁸. Les espaces insulaires sont donc marqués par une dichotomie plus ou moins forte entre la façade au vent (exposée) et la façade sous le vent (à l'abri). Un tel

⁵⁸ Godard.A et Tabeaud.M, 1998, op cité, p133

phénomène s'explique par le principe de l'ascension orographique, qui oblige les masses nuageuses poussées par les alizés, entrant au contact des terres à déverser une partie de leur volume d'eau afin de franchir les reliefs. Les reliefs reçoivent alors des volumes importants d'eau, plus les reliefs sont élevés, plus les volumes précipités deviennent abondants dans les espaces insulaires. Une fois les reliefs franchis, les masses nuageuses libérées de leur masse d'eau, glissent sur les flancs à l'abri des alizés sans y déverser de précipitations. Les masses nuageuses toujours poussées par les alizés poursuivent alors leur trajet en mer où elles se rechargent en vapeur d'eau. Pour exemple, à La Réunion (**tableau.3**), le Grand Etang sur la commune de Sainte Benoît, située sur la côte au vent reçoit plus de 6000mm (MétéoFrance) d'eau par an alors que l'Etang Saint Paul la commune du même nom sur la côte sous le vent reçoit moins de 1000mm (MétéoFrance) par an. Pour l'île Maurice, le problème est identique car le réservoir de la Mare aux Vacoas situés les façades sud et est connaît des précipitations supérieures à 3600mm⁵⁹ tandis que le réservoir de la Nicollière sur la façade nord et ouest n'en reçoit que 1800mm.

L'ensemble de ces précipitations va donc se répartir entre l'écoulement de surface, l'infiltration dans les sols et l'évaporation directe ou indirecte.

Tableau 3 : Opposition de façade et gradient altitudinal dans un espace insulaire, l'exemple de La Réunion

Ouest (façade sous le vent)			Est (façade au vent)		
Station	Altitude	Précipitations	Station	Altitude	Précipitations
Pointe des3 Bassins	5m	597,4mm	Saint Benoît	43m	3463,6mm
Cayenne	550m	910,3mm	Cambourg les Hauts	465m	5066,0mm
Cilaos	1197m	1905,0mm	Plaine des Palmistes	1032m	4634,3mm

Source : IGN, Météofrance

1.2.3.2. Le lac, témoin de la richesse des eaux souterraines.

Malgré des volumes précipités quelquefois importants, une grande partie des eaux de surface disparaît sous forme d'infiltration⁶⁰. La part importante de l'infiltration s'explique par la structure des sols et sous-sols composés de sable ou de roche volcanique fragmentée. L'écoulement souterrain engendre l'apparition de différentes masses d'eau souterraines découpées en aquifères.

⁵⁹ The school atlas of Mauritius, 2007, p12

⁶⁰ Cosandey.C et Robinson.M, 2000, p133-169

Selon la Directive Cadre Eau (DCE)⁶¹, une masse d'eau est un « volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifères » et un aquifère se définit comme « une ou plusieurs couches souterraines ou autres couches géologiques d'une porosité et perméabilité suffisantes pour permettre soit un courant significatif d'eau souterraine, soit le captage de quantités importantes d'eau souterraine ». A partir de ces définitions, nous pouvons distinguer deux grandes familles de nappes d'eau dans les espaces insulaires conformément à la classification avancée par Cosandey.C et Robinson.M⁶² (**fig.16**) :

Tout d'abord, les nappes dites perchées, situées à l'intérieur des terres en attitude, doivent leur existence à des poches alluvionnaires anciennes qui permettent la rétention de volumes d'eau. Ces poches de taille réduite correspondent à d'anciens cours d'eau aujourd'hui asséchés ou à des alluvions emprisonnées par des couches étanches, ce sont des nappes captives comme celle de Dos d'Ane à La Réunion. Ces nappes sont bien connues des Hommes qui les exploitent à des fins variables soit pour l'agriculture, soit pour de l'hydrothermalisme comme cela est le cas pour la nappe de Cilaos. Cependant ces dernières sont fragiles, leur pollution et leur disparition peuvent être très rapide. Ainsi la nappe de Dos d'Ane à La Réunion a-t-elle subi d'importantes pollutions liées à l'utilisation de nitrates de l'agriculture et se trouve aujourd'hui inexploitable⁶³.

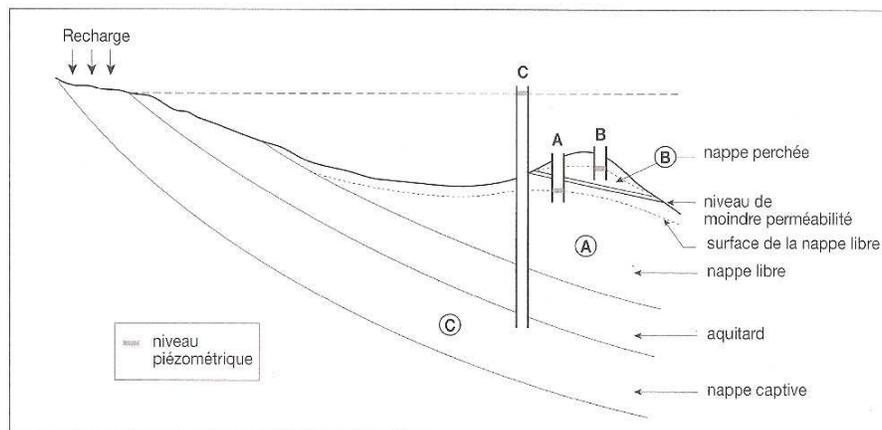


Figure 16 : L'écoulement souterrain

Source : Cosandey et Robinson, 2000

A cette première catégorie s'opposent les nappes alluviales ou nappes libres que l'on retrouve dans les lits des grands cours d'eau qui ont drainé au fil des millénaires des milliers de mètres cubes d'alluvions dans lesquels l'eau de surface s'infiltré et poursuit son écoulement bien

⁶¹ « La Directive Cadre Eau », <http://www.eaufrance.fr>

⁶² Cosandey.C et Robinson.M, op cité, p173-177

⁶³ SDAGE Réunion 2010-2015, « Processus d'évaluation environnementale »

loin de la surface. Ces nappes représentent des volumes conséquents d'eau douce, souvent exploités par les Hommes par l'intermédiaire de forages. Ces nappes souterraines peuvent quelquefois émerger de nouveau en surface comme cela est le cas pour l'Etang Saint Paul à La Réunion dont une partie des eaux issues du bassin d'alimentation réapparaissent en surface dans la zone littorale et joue un rôle de maintien d'étiage pour le plan d'eau⁶⁴. La proximité de la mer impose une gestion des plus prudentes pour ne pas rendre ces nappes inutilisables. En effet ces nappes alluviales nécessitent une exploitation délicate en particulier dans les atolls coralliens du fait du phénomène de la lentille d'eau douce ou lentille de Ghyben-Herzberg⁶⁵. En effet l'eau douce moins dense que l'eau salée forme une poche au-dessus du niveau de la mer mais sa surexploitation ou la réalisation de forages trop profonds peuvent l'endommager et la polluer d'une manière irrémédiable. L'île Maurice a mis en place une politique d'exploitation de ces acquières afin de compenser les déficits de précipitations⁶⁶. Les forages permettent de subvenir aux besoins lors des phases de sécheresse comme durant l'année 2010 où la décision d'approfondir les forages fut prise face à l'assèchement des réservoirs de surface.

1.2.3.3. Les hydrosystèmes lacustres, du cours d'eau au plan d'eau.

Les écoulements de surface contribuent à l'apparition de réseaux hydrographiques (cours d'eau, lacs...). Cependant ces écoulements de surface constituent une particularité en milieu insulaire. En effet la dimension réduite de ces îles limite la formation de réseaux hydrographiques étendus, de plus l'inégale répartition des précipitations et la nature géologique des sols favorisent l'intermittence des écoulements. Pour l'étude de cet écoulement de surface, nous allons nous baser sur les critères de la Directive Cadre Européen sur l'Eau (DCE) d'étudier et de comparer les masses d'eau. La DCE différencie les écoulements de surface en deux grandes familles : les masses d'eau « cours d'eau » et les masses d'eau « plan d'eau ».

Pour l'étude des masses d'eau « cours d'eau », l'observation des hydro-écorégions permet d'effectuer une régionalisation des entités hydrologiques d'écoulement de surface afin de mieux les comprendre et les comparer. Les hydro-écorégions⁶⁷ sont des découpages hydrologiques établis dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) ils sont basés sur des critères primaires (relief, géologie, climat...) et des facteurs de contrôle (hydrologie, morphologie,

⁶⁴ Territoire Côte Ouest (TCO), 2005

⁶⁵ Guébourg, J-L, 2003, op cité

⁶⁶ CWA, 2011

⁶⁷ SDAGE Réunion 2010-2015, « La directive Cadre Eau et al révision du SDAGE »

végétation) qui constituent des conditions favorables à l'établissement d'écosystèmes spécifiques. L'avantage de cette méthode d'analyse est d'éviter l'étude spécifique par bassins versant et de permettre un regroupement des réseaux de surface présentant des éléments communs. Ce type de délimitation ne se retrouve bien sûr que sur les territoires européens. Pour effectuer des comparaisons avec l'île Maurice ou les Seychelles, il faudra travailler à l'échelle du bassin hydrographique. La France comporte 21 grandes hydro-écorégions sur l'ensemble du territoire métropolitain, La Réunion recense pour sa part six hydro-écorégions différentes et Mayotte trois. Si l'on prend l'exemple des hydro-écorégions de La Réunion, pour laquelle les découpages ont été les plus aboutis, on constate qu'au delà des caractéristiques communes (géologie, relief...) des contrastes forts apparaissent d'une région hydrologique à l'autre. Tout d'abord une forte différenciation en matière de pluviométrie qui varie de plus de 10m du piton de la Fournaise au sud-est à moins de 1m sur le littoral occidental. La caractérisation d'un gradient est-ouest qui permet d'aboutir au classement des hydro-écorégions en trois parties : sous le vent, au vent, intermédiaire. Enfin une opposition forte entre les bassins versant : les bassins issus des cirques d'altitude dont l'écoulement se fait par canyon et les bassins ruisselant sur les versants volcaniques. Parmi les six hydro-régions recensées à La Réunion, deux seulement présentent un écoulement pérenne, ce qui constitue une composante forte dans le cadre de la gestion des plans d'eau. En effet l'intermittence des cycles d'écoulement nécessite de réfléchir leur gestion sur des phases annuelles.



Photographie 5 : Lit majeur de la Rivière des Galets (Réunion)

Au regard des critères de la DCE, les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien ne regroupent que peu de plans d'eau⁶⁸. En effet l'étroitesse des territoires, les reliefs accidentés, les

⁶⁸ Bartout.P, Touchart.L, 2013, p266-289

Le critère de superficie retenu par la DCE pour les plans d'eau est de 10 hectares pour les lacs naturels et 40ha pour les masses d'eau fortement modifiées (MEFM), ce qui écarte une grande partie des lacs étroits et profonds, de type lac de cratère, caractéristiques des lacs insulaires. Ce seuil nécessitera une adaptation pour notre recherche en milieu insulaire en fonction des plans d'eau observés.

réseaux hydrographiques peu développés ne sont pas favorables à l'apparition d'immenses plans d'eau. La majorité des zones humides naturelles recensées sont de petite taille, elles sont implantées dans des espaces creux, des fonds de vallées ou d'anciens cratères profitant ainsi des déformations du relief (le lac de caldeira Dziani à Mayotte). La taille naturelle réduite de ces plans d'eau a poussé les Hommes à les aménager en les surélevant comme cela est le cas de la Mare aux Vacoas (**photo.6**) à Maurice, ancien lac de caldeira rehaussé pour constituer un réservoir de plus de 260ha (CWA). A ces structures naturelles, modifiées ou non, s'ajoutent les aménagements anthropiques plus vastes, avec les réservoirs hydrauliques construits ex-nihilo pour répondre aux besoins des populations, comme cela est le cas à Mayotte avec les réservoirs de Dzoumougné et Combani. Les plans d'eau ne peuvent bien sûr être envisagés sans leur bassin d'alimentation plus ou moins étendu en fonction de la localisation de la zone humide. Plus le plan d'eau est situé en tête de réseau sur les parties intérieures de l'île, plus son bassin est étroit (552 ha pour Grand Etang à La Réunion), alors que s'il se situe en fin de réseau sur le littoral, le bassin est plus étendu (10 627ha pour l'Étang Saint Paul à La Réunion). Selon les critères de la Directive Cadre sur l'eau, le nombre de plans d'eau dans le sud ouest de l'océan Indien n'excéderait pas 19, répartis entre quatre îles (Maurice 11, Mayotte 3, Réunion 4 et 1 Mohéli). De fait, la DCE ne retient que les plans d'eau dont la superficie est supérieure à 10ha pour les masses naturelles et 40ha pour les masses d'eau fortement modifiées (MEFM) comme les réservoirs mais ce critère basé principalement pour des territoires continentaux nécessitent quelques adaptations régionales. Il faut donc élargir ces critères (volume, taille du bassin d'alimentation, origine, comportement hydrologique...) afin de ne pas laisser à l'écart des entités, certes plus petites mais à caractère lacustre comme est le cas pour le Lac Salé (Grande Comore) dont la superficie en eau de 9ha le tient à l'écart des plans d'eau retenus par la DCE.

L'ensemble des écoulements de surface ou souterrains finit plus ou moins rapidement leur cheminement dans l'espace maritime à partir duquel ils vont alimenter de nouveau le cycle de l'eau. On constate donc un cycle de l'eau rapide au sein de ces espaces insulaires, cependant les pressions accrues des populations anthropiques modifient ce rythme et dégradent progressivement la qualité de ces eaux. Dans cette logique de maintien de la qualité des eaux, les lacs et la zone humide qui les entoure, constitue un atout fondamental en filtrant et retenant une partie des pollutions. On comprend avec ce raisonnement toute l'importance des lacs côtiers de la zone comme l'Étang Bois Rouge, l'Étang du Gol à La Réunion, la zone humide des Badamiers à Mayotte et les multiples zones humides de l'île Maurice qui se voient sacrifiées au profit d'aménagements touristiques littoraux⁶⁹.

⁶⁹ Le Mauricien, 06/08/2012



Photographie 6 : Le réservoir de la Mare aux Vacoas (Maurice)

Cliché Mathelin, 2011

Conclusion partielle

Le sud-ouest de l'océan Indien est donc un espace régional à part entière dans lequel la composante insulaire constitue un des traits majeurs. La présence sous forme d'archipels, d'îles de taille très variable allant du banc de sable à des îles de dimension continentale montre toute la diversité de ce terrain. Le passé géologique des îles constitue un trait d'union avec des paysages caractéristiques et des populations qui ont su s'adapter aux contraintes naturelles. Le métissage des populations et le passé colonial ont contribué à façonner des identités insulaires. Cependant ces îles se trouvent aujourd'hui confrontées à des problématiques communes en matière de population qui se répercutent sur la ressource en eau douce. Cette question de l'eau se trouve exacerbée par les inégalités de développement régional. Les inégalités socio-économiques ainsi que les réponses apportées à une même problématique dans un espace régional si réduit, constituent toute l'originalité de cette recherche.

Dans ce contexte insulaire du sud-ouest de l'océan Indien, la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes permet de mieux appréhender la problématique de la ressource en eau. L'eau en milieu insulaire, ici observée au travers des hydrosystèmes lacustres, est à la fois source de bienfaits mais aussi un facteur de dangers. La connaissance et la maîtrise des climats insulaires qui rythment les cycles hydrologiques permettent une réflexion plus globale sur la question de la ressource en eau. Cependant le cycle de l'eau en milieu insulaire reste malgré l'étroitesse des territoires, un mécanisme complexe où les pressions anthropiques grandissantes créent de multiples situations de stress hydrique. Dans ce contexte si particulier, le lac est une entité originale, mais à part entière de ces hydrosystèmes insulaires. Il constitue un support scientifique pour la compréhension et l'analyse de cette question de la ressource en eau. De plus sa configuration lui permet d'apporter des réponses plus ou moins durables pour satisfaire les besoins grandissants des populations.

2. Les lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien ; recensement, classification, méthodologie de l'analyse

Les lacs insulaires constituent des éléments à part entière des hydrosystèmes insulaires comme nous avons pu le voir précédemment. Cependant cet objet géographique, original de part sa configuration d'isolat d'eau douce dans un environnement maritime, nécessite une réflexion à part entière pour en comprendre son fonctionnement. L'identification et la classification de ces lacs constituent deux postulats indispensables en vue de l'analyse des comportements lacustres.

Chapitre 2.1. Le lac insulaire, une entité géographique originale.

2.1.1. Le lac insulaire, un objet géographique à part entière.

Les lacs insulaires tropicaux sont des entités géographiques originales car elles apparaissent comme des isolats d'eau douce au cœur d'un espace terrestre isolé dans un environnement maritime (un isolat dans un isolat). Ces réserves d'eau dont la superficie et le volume sont variables, représentent des ressources en eau indispensables sur les espaces insulaires. Le caractère tropical leur confère un fonctionnement spécifique tant dans le régime hydrologique que dans les écosystèmes qui s'y développent. La définition d'un lac insulaire tropical nécessite donc de réfléchir autour de trois composantes pour caractériser cet objet géographique : les composantes lacustre, insulaire et tropicale.

La définition d'un lac a connu de nombreuses évolutions au cours du XX^{ème} siècle au fur et à mesure que la limnologie se développait. En 1901, Forel définissait le lac comme « une masse d'eau sans communication directe avec la mer, située dans une dépression fermée de tout côté »⁷⁰, il est vrai que cette définition correspondait tout à fait à la problématique des lacs alpins. Cependant cette définition assez restrictive a été élargie dans sa dimension verticale pour tenir compte des caractéristiques physico-chimiques des masses et dans sa dimension horizontale afin d'intégrer l'ensemble du limnosystème (bassin d'alimentation et la zone d'influence du lac) à cette définition. Ainsi Laurent Touchart⁷¹ propose de définir le lac comme « un plan d'eau continental (séparé de la mer, dominé par son bassin d'alimentation et développant une personnalité propre), dont la profondeur, la superficie ou le volume sont suffisants pour provoquer un étagement, une zonation ou une régionalisation des processus limniques ». Cette définition nous permet donc d'approcher le lac d'une manière élargie⁷² ne tenant pas seulement compte des volumes ou des superficies mais

⁷⁰ Touchart.L, 2003, p172

⁷¹ Touchart.L, 2000, p313-322

⁷² Contrairement à la vision normée de la DCE

aussi des comportements lacustres, cet élargissement est tout à fait indispensable pour la réflexion en milieu insulaire où l'étroitesse des territoires limite l'étendue et le volume des masses d'eau.

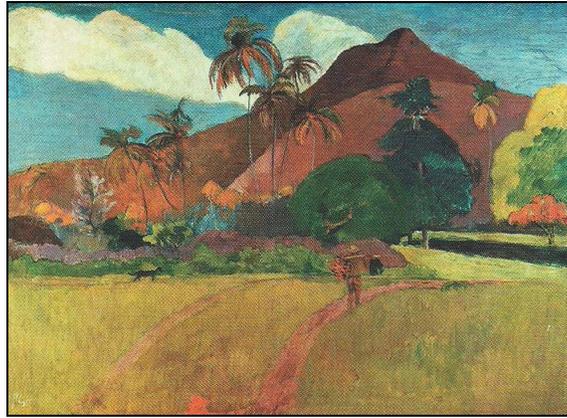
La composante insulaire de notre sujet impose de réfléchir précisément sur la définition de l'île au sens de l'objet géographique. Une île se définit selon Pierre Georges⁷³ comme « une terre isolée de tous côtés par les eaux » mais cette définition très vaste impose d'intégrer d'autres critères car envisagée à l'échelle de la planète, toute terre est en effet entourée d'eau, donc tout espace constitue une île ou fait partie d'une île. Yves Lacoste⁷⁴ reprend cette définition mais tente de hiérarchiser les espaces insulaires par ordre de grandeur pour classer les phénomènes d'insularité évitant de mettre au même rang l'île continent de Madagascar et l'atoll de Bassas da India. Pour nuancer ces 2 premières approches, Jean François Staszak⁷⁵ propose de définir l'île plutôt sous un regard plus identitaire comme « un monde clos et suffisant, où l'on peut être entre soi, en rupture avec le continent, rupture qui se marque par une identité et une temporalité distincte ». Cette vision de la rupture continentale reste à nuancer car dans le contexte de mondialisation actuel et de développement des sociétés insulaires, ces îles recréent des comportements anthropiques proches du continent et gommant ainsi les composantes de l'insularité. Seules les revendications d'un insularisme⁷⁶ permettent à ces territoires de maintenir leur statut de « terres isolées », leur permettant de bénéficier de programmes internationaux spécifiques. Cependant dans ce contexte de remise en cause de l'insularité, il serait terrible de nier certains particularismes naturels liés à des milliers d'années d'isolement physique. Cet isolement avait permis le développement d'espèces endémiques qui ont connu une hybridation au fur et à mesure de l'anthropisation de ces territoires. Le lac insulaire s'inscrit tout à fait dans cette logique d'endémisme car son isolement physique lui impose de recréer des écosystèmes différents de ceux observés sur les continents. La perspective d'isolat s'avère ici judicieuse d'autant plus que le cycle de l'eau est partiellement fermé pour certains plans d'eau endoréiques. La notion d'île ici retenue pour ce travail favorisera donc une approche plutôt morphologique et biologique afin d'analyser l'existence de caractères propres à ces territoires. L'analyse de l'insularité « naturelle » de ces territoires sera donc au centre du raisonnement même si nous sommes conscients que l'évolution des rapports avec le continent ont profondément modifié la notion du point de vue anthropique.

⁷³ P.George, 2006

⁷⁴ Lacoste.Y, 2003

⁷⁵ Lévy.J et Lussault.M, 2004

⁷⁶ Taglioni.F, 2010, op cité



Photographie 7 : Les montagnes tahitiennes, P Gauguin, 1893

La dimension tropicale complète les deux notions précédentes. Cet aspect tropical est lié à la localisation de notre zone d'étude. Les espaces insulaires tropicaux ont toujours occupé une place particulière dans l'imaginaire des géographes. Ces îles, éloignées des terres occidentales étaient représentées comme des édens perdus (**photo.7**) dont les sociétés étaient isolées des perversions de l'ancien monde, comme cela est le cas dans les tableaux de Gauguin sur la Polynésie⁷⁷. Mais les représentations de la tropicalité sont quelquefois loin des réalités. Le soleil, les plages, les arbres fruitiers n'incarnent qu'une minorité, certes paradisiaque, des paysages tropicaux dont la chaleur élevée et les excès pluviométriques façonnent des végétations luxuriantes et souvent impénétrables. Le caractère tropical s'affirme donc au travers des précipitations qui conditionnent des régimes hydriques comme ceux des lacs dont les marnages annuels sont exceptionnels, allant des phases d'assèchement quasi total en période sèche à des variations brutales de niveau de plusieurs mètres suite à des épisodes pluvieux comme le montre l'exemple du Grand Etang à La Réunion⁷⁸. Autre dimension inhérente à la tropicalité, la chaleur (température supérieure toute l'année à 18°C)⁷⁹ qui alliée avec l'humidité ambiante permet le développement d'écosystèmes très riches. De plus ces îles connaissent de multiples micros-climats du fait des effets de façade ce qui favorise une grande hétérogénéité des écosystèmes sur une surface réduite. Le monde tropical se caractérise donc par la richesse de sa biodiversité.

Après avoir analysé succinctement les composantes des lacs insulaires sous influence tropical, il s'avère fondamental d'en proposer un essai de définition qui nous servira de point de référence pour la caractérisation de ces entités géographiques. Le lac insulaire dans le sud-ouest de l'océan Indien se définit donc comme une masse d'eau douce, située dans un espace insulaire clos

⁷⁷ Staszak.J-F, 2003, p233-237

⁷⁸ Mathelin.E, 2007, op cité

⁷⁹ Demangeot.J, 1999, op cité, p7-10

et isolé par les océans, présentant des comportements lacustres propres (régimes hydrologiques, comportements physico-chimiques, influence sur l'hydrosystème...). Le contexte du sud-ouest de l'océan Indien se retrouve avec l'influence tropicale (chaleur et humidité) qui conditionne les processus morphologiques, hydrologiques et biologiques des systèmes lacustres. La présente définition n'est qu'une ébauche mais elle nous permet de répondre à l'ensemble des situations rencontrées dans la zone d'étude.

A partir de celle-ci, nous pourrions tenter de recenser et d'analyser les lacs de la zone afin d'en définir les critères principaux mais aussi les nuances ce qui servira de base à l'établissement d'une typologie des lacs insulaires tropicaux du sud-ouest de l'océan Indien.

2.1.2. Recensement des lacs insulaires.

Le recensement des masses d'eau insulaires nécessite la mise en place d'un protocole d'observation qui permet un travail à différentes échelles. Ce protocole (**fig. 17**) s'inspire en partie de pratiques de terrain effectuées par P.Bartout⁸⁰ lors de son recensement des étangs limousins. L'objectif étant d'identifier les diverses masses d'eau pour déterminer celles qui correspondent aux critères lacustres. A partir de ce recensement, il nous sera possible d'établir une base de données hydrologiques présentant les principales caractéristiques des lacs insulaires de la zone du sud-ouest de l'océan Indien. Cette base de données va être indispensable en vue d'établir des analyses croisées entre les différentes îles. La méthodologie de ce recensement donc nécessite d'effectuer un diagnostic à petite échelle à partir de supports divers (carte topographique et photographies aériennes) avant d'affiner les résultats à grande échelle par un travail de terrain ou la consultation de bases de données spécifiques.

A petite échelle, le travail de recherche a débuté à partir de supports cartographiques (carte IGN 1/25 000 et au 1/100 000) et des photographies satellites et aériennes (IGN ou Géoportail pour les territoires français et Google Earth pour les autres espaces insulaires). Ces bases cartographiques, lorsque cela a été possible, ont été géoréférencées dans un système d'information géographique (SIG, Mapinfo⁸¹) pour être croisées à d'autres bases SIG existantes sur les territoires de la zone (DREAL, DAF, Ministry of housing and lands). Ce premier travail a permis d'identifier les grands ensembles hydrologiques péréens (supérieurs à 10 hectares pour les lacs naturels et 40

⁸⁰ Bartout.P, 2006

⁸¹ Logiciels gracieusement prêtés par le rectorat de La Réunion dans le cadre d'un projet académique de développement des SIG.

hectares pour les masses d'eau anthropiques, conformément au recensement de la DCE) ainsi que leurs principales caractéristiques (localisation, altitude, hydrosystème, morphologie, bassin d'alimentation, aménagements spécifiques de grande ampleur...). Le croisement des données cartographiques et des bases de données administratives a permis d'établir un recensement assez précis des masses d'eau des différents territoires observés et d'identifier certaines masses d'eau non retenues par les critères de la DCE⁸². A partir de ce recensement, notre zone de recherche du sud-ouest de l'océan Indien s'est donc réduite à quelques territoires précis, ce qui a permis de mieux cibler les campagnes de terrain. En effet les îles de La Réunion, Maurice, Mayotte regroupent l'essentiel des plans d'eau à caractère lacustre. La dimension de ces plans d'eau est suffisante pour influencer le territoire et en constituer un objet d'étude à part entière. Cependant cette première approche des masses d'eau nécessite un travail de terrain pour affiner ces observations et étudier plus précisément certains aspects (mise en valeur du site, petits aménagements, type d'utilisation, situation environnementale, érosion des berges, comblement...). Il est bien sûr évident que le travail à grande échelle n'a pas permis d'identifier précisément toutes les masses d'eau, les plus petites (inférieures à 10 hectares), vont nécessiter, lorsque cela est possible, une prospection différente (contact de terrain, consultation de bases administratives diverses...) et une visite de terrain pour déterminer leur rôle et leurs caractéristiques hydrologiques afin de les inscrire ou non dans la problématique de recherche.

A grande échelle, le travail de terrain a donc supplanté l'analyse des supports cartographiques. Les campagnes de terrain ont donc été définies en fonction des moyens⁸³ et des données disponibles⁸⁴. L'île de La Réunion et l'île Maurice ont constitué des terrains d'étude privilégiés car regroupant le plus grand nombre de plans d'eau. Durant la période d'étude pas moins de 6000kms de sentiers ont été arpentés sur ces deux îles afin d'effectuer cette prospection. Les plans d'eau de l'île de Mayotte au nombre de 3 principaux, n'ont pu être observés qu'au travers de données héritées et de témoignages de personnes. Dans le cadre de ces campagnes de terrain, des relevés précis de terrain, à l'aide de GPS (Garmin Venture HC⁸⁵), ont permis de géolocaliser certains aspects (affluents secondaires, petits aménagements, affaissements de berges...) mal identifiés sur les bases cartographiques. De plus pour certaines masses d'eau comme celle des Midlands (décembre 2002) à Maurice ou celle de Dzoumogné (mai 2001) à Mayotte, trop récentes

⁸² Ceci est le cas de certains lacs de cratère comme Grand Bassin à Maurice ou même le lac Salé en Grande Comore dont les superficies ne permettent d'être retenues comme lac. Leur structure de lac de cratère (profondeur importante) leur permet ce pendant d'avoir des comportements lacustres.

⁸³ L'ensemble des visites de terrain à La Réunion ou sur l'île Maurice ont été financées entièrement à titre personnel.

⁸⁴ Données mises à disposition par les divers organismes gestionnaires (Office de l'eau, DAF, Central Water Authority...)

⁸⁵ Matériel acquis à titre personnel

pour apparaître sur certaines bases cartographiques utilisées, le travail de terrain a permis de les localiser et d'y effectuer les observations nécessaires. Pour les masses d'eau de taille inférieure (moins de 10 hectares), qui n'ont pu être identifiées sur les bases cartographiques mais connues du point de vue administratif, les visites de site ont permis une localisation de ces zones humides, d'en vérifier l'existence et de les géolocaliser pour en proposer une superficie quand celle-ci était manquante. Cependant de nombreuses masses d'eau ont une existence temporaire car celles-ci sont situées dans des cavités qui ne se remplissent qu'en saison des pluies (la zone humide de l'Argamasse ou la mare Kerval à La Réunion, **photo.8**). Leur recensement est donc difficile et nécessite de réfléchir sur leur place dans la base de données hydrologiques proposée.



Photographie 8 : Mare Kerval (Réunion)

Cliché Mathelin, 2012

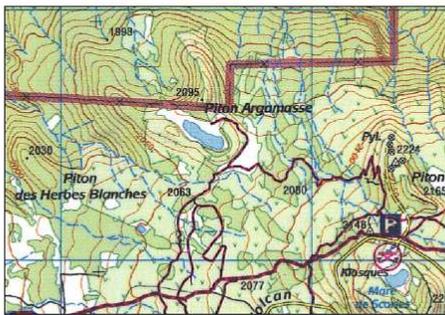
Etape 1 : Consultation des bases administratives existantes



=> Consultation des banques de données sur l'eau :
 - Données nationales (Système d'Information sur l'Eau)
 - Données internationales (Base de données RAMSAR, Patrimoine mondiale de l'UNESCO...)

Extrait du portail SIE de la Réunion

Etape 2 : Recherches des plans d'eau non recensés



L'Argamasse à la Réunion, l'exemple d'un lac temporaire
 Extrait de la carte IGN, 2007



Le Lac salé à Grande Comore, l'exemple d'un lac non recensé
 Extrait de Google Earth, 2012

=> Utilisation de supports divers (cartes, photographies aériennes, plans...) pour identifier ces plans d'eau.
 => Géolocalisation des masses d'eau.
 => Mesures morphométriques de base (pourtour du lac, superficie, ...) pour caractériser la masse d'eau.

Etape 3 : Visites de terrain



Le Grand Etang, mise en place d'un protocole de mesure
 Cliché : E. Mathelin, 2007

=> Géoréférencement du site et de ses éléments remarquables
 => Prise de photographies
 => Mesures de terrain (pourtour du lac, tracé des affluents, mesure de la digue...)

Figure 17 : Méthodologie du recensement des lacs insulaires

2.1.2.1. Bilan global du recensement.

Les recensements à petite échelle, couplés avec les campagnes de terrain à plus grande échelle ont permis d'observer les diverses masses d'eau. Comme attendu, les masses d'eau de plus grande taille (supérieures à 10ha pour les entités naturelles et 40ha pour les masses d'eau anthropiques) présentent des caractéristiques limniques évidentes (présence de structures morphologiques lacustres, régionalisation temporelle ou spatiale de certains caractères hydrologiques...), ce qui nous permet de les retenir comme plans d'eau correspondant aux caractères lacustres (**tableau.4**). Ces caractéristiques observées sur le terrain (en particulier pour les questions morphologiques) sont la plupart du temps confirmées par une série de mesures effectuées par les organismes gestionnaires ou compétents dans le domaine de l'eau.

Tableau 4 : Les principales masses d'eau du sud-ouest de l'océan Indien retenues

Nom zone humide	Localisation	Superficie (km ²)	Capacité (Mm ³)	Bassin alim (km ²)	Origine	Utilisation
Lac Salé	Grde Comore	0,09	NE	NE	naturelle	Religieuse
Mare aux Vacoas	Maurice	5,6	25,89	19,50	anthropique	Domestique
Midlands	Maurice	2,98	25,50	17,20	anthropique	Irrigation / Domestique
La Ferme	Maurice	2,28	11,52	19,60	anthropique	Irrigation
Mare Longue	Maurice	1,05	6,20	6,50	anthropique	Irrigation / Hydroélectricité
Nicolière	Maurice	1,02	5,20	19,60	anthropique	Irrigation / Domestique
Piton du milieu	Maurice	0,76	2,99	6,30	anthropique	Domestique
Eau bleue	Maurice	0,75	4,10	NE	anthropique	Hydroélectricité
Valetta	Maurice	0,70	2,00	NE	anthropique	Irrigation
Tamarind falls	Maurice	0,54	2,30	NE	anthropique	Irrigation / Hydroélectricité
Cascade	Maurice	0,43	4,30	NE	anthropique	Hydroélectricité
Dagotière	Maurice	0,21	0,60	NE	anthropique	Irrigation
Garnd Bassin	Maurice	0,11	NE	NE	naturelle	Religieuse
Réservoir Combani	Mayotte	0,23	1,50	4,60	anthropique	Domestique
Réservoir Dzoumogné	Mayotte	0,22	2,00	7,60	anthropique	Domestique
Lac Dziané	Mayotte	0,2	NE	0,90	naturelle	Loisir
Lac Boudoumi	Mohéli	0,17	NE	NE	naturelle	Loisir / protection
Étang Saint Paul	Réunion	4,47	NE	106,00	naturelle	Loisir
Grand Etang	Réunion	0,4	7,00	5,90	naturelle	Loisir
Étang du Gol	Réunion	0,41	NE	97,00	naturelle	Loisir
Étang de Bois Rouge	Réunion	0,05	NE	0,90	naturelle	Loisir

NE : Non évaluée

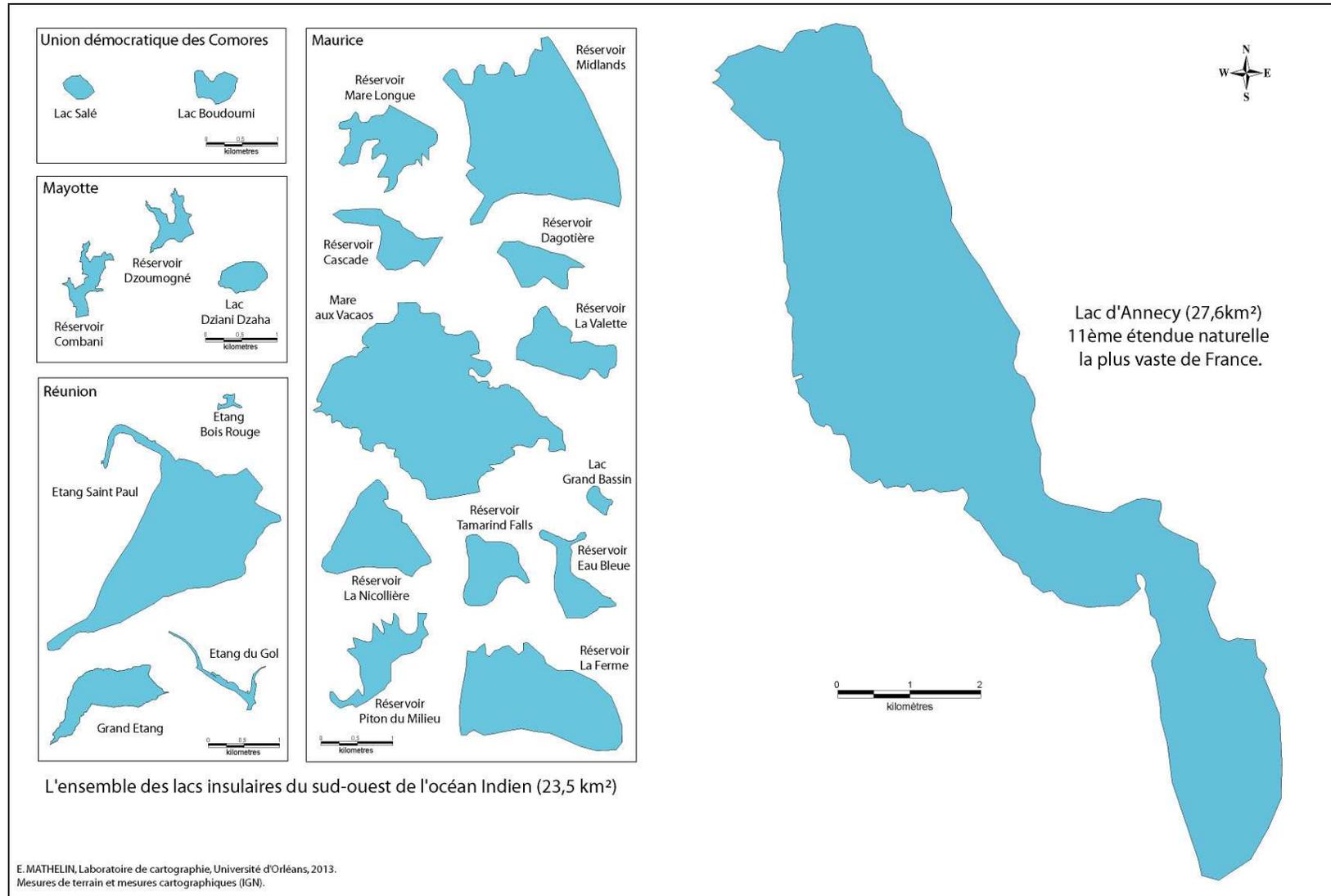


Figure 18 : La limnicité du sud-ouest de l'océan Indien

Toutefois, les masses d'eau plus modestes (inf à 10 ha pour les lacs naturels et 40ha pour les masses d'eau anthropiques), se révèlent aussi nombreuses dans certaines zones insulaires où les reliefs vallonnés et disséqués favorisent leur installation.. En effet la DIREN (DREAL) recense plus de 180 zones humides⁸⁶ à La Réunion, soit 2317ha, allant de la prairie humide au delta. Mais ces masses d'eau (nombreuses proches de 1ha) ne présentent pas forcément les caractéristiques limniques qui permettent de définir la nappe d'eau en tant que lac. Cependant la notion de superficie reste relative car elle ne tient pas compte du volume d'eau lié à la profondeur. En effet certains plans d'eau modestes d'origine volcanique présentent des profondeurs relativement élevées permettant l'apparition de comportements lacustres. Or le manque de suivi et de données (manque d'intérêt écologique, dimension sacrée...) limite la connaissance de ces masses d'eau. De plus, l'absence d'aménagements de ces zones ou le faible intérêt environnemental réduit la dimension géographique de leur analyse. Parmi ces plans d'eau plus modestes, les masses d'eau les plus proches du seuil des 10ha seront retenues dans le recensement mais ne seront évoquées qu'à la marge dans cette étude.

Nous avons donc concentré l'essentiel de nos travaux sur des masses d'eau les plus importantes (supérieures ou proches de 10ha pour les lacs naturels et 40ha pour les masses d'eau anthropiques) présentant des caractéristiques lacustres avérées et un intérêt environnemental certain ou des aménagements influençant durablement les territoires. Les problématiques géographiques y seront plus nombreuses et complexes pour un travail de recherche. Malgré tout, les analyses des territoires insulaires et de certaines problématiques nous permettront aussi de faire référence à certaines masses d'eau plus modestes (quelques hectares) dont le caractère lacustre est soupçonné mais ne peut être démontré par des mesures scientifiques.

2.1.2.2. Bilan par île.

Chaque île présente des masses d'eau tout à fait différentes (**fig. 19**).

L'île Maurice regroupe 11 masses d'eau soit plus de 1 700 ha, la majorité de ces masses d'eau sont d'origine anthropique ou naturelle anthropisée. Ce sont des réservoirs supérieurs à 40ha dont la création est postérieure à 1950, destinés à l'irrigation ou à la consommation domestique. Les quelques lacs naturels sont de très petite taille (inférieurs ou proches de 10ha) car situés dans des cratères, comme le Grand Bassin, véritable lieu de culte tamoul.

⁸⁶ Recensement des zones humides de La Réunion effectué par les services de la DIREN en 2003 puis actualisé en 2009. Un nouveau recensement a été effectué en collaboration avec le Conservatoire des Mascariens en 2011

La Réunion regroupe 390ha de masse d'eau à caractère lacustre répartis en trois plans d'eau dont un plus important, l'Etang Saint Paul, qui couvre près de 300ha. Ce sont des lacs d'origine naturelle situés en arrière d'un cordon littoral ou dans des dépressions de grande ampleur. Ces zones humides connaissent des aménagements divers (mise en réserve, structures touristiques, parcours de découverte...) permettant de les valoriser dans une perspective environnementale. A noter la présence de plans d'eau de taille modeste (Mare de Cilaos, Mare à Poules d'eau, Piton de l'Eau...) dont les caractéristiques lacustres ne sont pas avérées mais dont les écosystèmes ou les aménagements présentent un certain intérêt dans le cadre de cette recherche.

L'île de Mayotte pour sa part présente une des plus petites superficies de masses d'eau avec seulement 60ha. Cette superficie est répartie entre deux grandes retenues collinaires (Combani et Dzoumogné) et un lac de cratère (Lac Dziani). Les retenues collinaires ont des vocations domestiques pour répondre aux besoins des populations en période sèche. Le lac Dziané est isolé, il sert de zone touristique mais le site n'offre que peu de possibilités d'aménagements.



Photographie 9 : Réservoir de Combani (Mayotte)

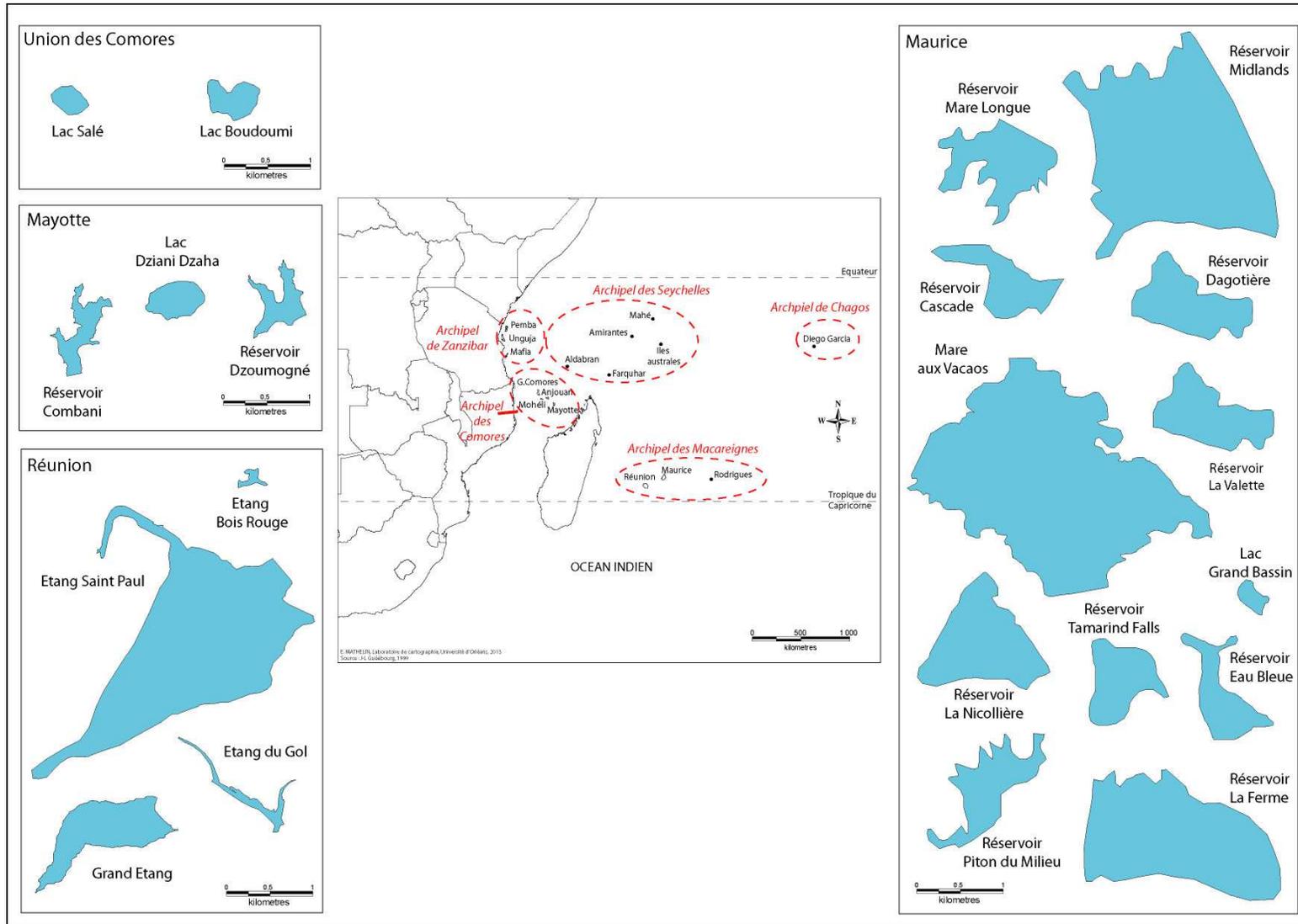


Figure 19 : Recensement des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien

L'île de Mohéli, associée à l'archipel des Comores ne possède qu'un seul plan d'eau répondant aux critères de cette recherche avec le lac Boudoumi (17ha) qui est inscrit sur la liste de Ramsar. Ce lac naturel d'origine volcanique est le seul plan d'eau douce de l'île, il est reconnu pour abriter certaines espèces écologiques rares (*Tachybaptus ruficollis*) mais fait aussi l'objet de croyances diverses. Les connaissances scientifiques, en particulier hydrologiques de cette masse d'eau sont parcellaires.

Cette première approche nous a permis d'identifier et d'apprécier la diversité des lacs insulaires tropicaux de la zone tant du point de vue de la superficie, que de l'origine ou de la vocation. Afin de mieux appréhender cette problématique, une classification de ces différents lacs s'impose pour envisager d'éventuelles corrélations entre leur nature et les stratégies d'aménagement.

2.1.3. Classification des lacs insulaires.

2.1.3.1. Principes de classification.

La classification des lacs a suscité des réflexions épistémologiques nombreuses depuis le XIX^{ème} siècle tant par les biologistes que les géographes⁸⁷. La construction d'une classification a débuté dès le XIX^{ème} siècle avec les propositions du géomorphologue Davis (1882)⁸⁸ qui positionnait les différents lacs au sein des cycles d'érosion sans en faire un objet géographique à part entière. A partir des critiques de celle-ci, les géographes (Supan), les géologues (Desor) ont proposé d'autres approches plus synthétiques basées sur les connaissances de leurs époques. En 1957, la classification du biologiste d'Hutchinson⁸⁹ s'imposa avec la notion des régions lacustres et la détermination de 11 familles de lacs basées sur l'origine morphologique (structurale et dynamique). L'absence de hiérarchie spatiale et temporelle en fut la principale base de remise en cause (Timms, 1992 et Touchart, 2000). Une approche scalaire (temporelle et spatiale) permettrait d'apporter une dimension plus géographique et de compléter la classification d'Hutchinson.

Ainsi le type de classification retenu pour ce travail de recherche se base sur les travaux de L.Touchart (2000) qui a proposé une classification des lacs intégrant les dimensions spatio-temporelles pour mieux appréhender la vie d'un lac et de sa cuvette. Il est évident que les lacs

⁸⁷ Touchart.L, 2000, op cité, p13-33

⁸⁸ Touchart.L, 2000, op cité

⁸⁹ Touchart.L, 2000, op cité

étudiés sont difficilement comparables à certains monuments lacustres comme le lac Ontario, le Tanganyka..., mais l'intérêt de cette comparaison est de montrer que les lacs insulaires s'inscrivent dans une hiérarchie mondiale des lacs et nécessitent d'y apporter un regard attentif par les problématiques géographiques qu'ils représentent. Ce travail va viser à intégrer le lac dans une hiérarchie mondiale au même titre que certains lacs continentaux tout en identifiant plus spécifiquement s'il existe ou non des caractéristiques lacustres propres à l'espace régional du sud-ouest de l'océan Indien. Cependant en observant ces lacs insulaires, on observe des contrastes importants concernant les origines morphologiques (structurale, modelé ou anthropique) et les âges de ces lacs (de 340 000ans à 10 ans). Les origines morphologiques regroupent les formations liées à l'activité volcanique directe ou indirecte, lacs dont la formation est liée au modelé maritime et les lacs d'origine anthropique. Cette diversité des origines morphologiques a des conséquences évidentes sur les lacs opposant les lacs naturels de plusieurs milliers d'années aux lacs artificiels de quelques décennies. Nous retiendrons principalement le critère morphologique pour établir une proposition de classification.

2.1.3.2. Proposition de classification morphologique des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.

Au regard des lacs retenus dans le cadre de cette étude sur le sud-ouest de l'océan Indien, les critères morphologiques de chaque plan d'eau nous permettent de proposer la classification suivante (**fig. 20**) :

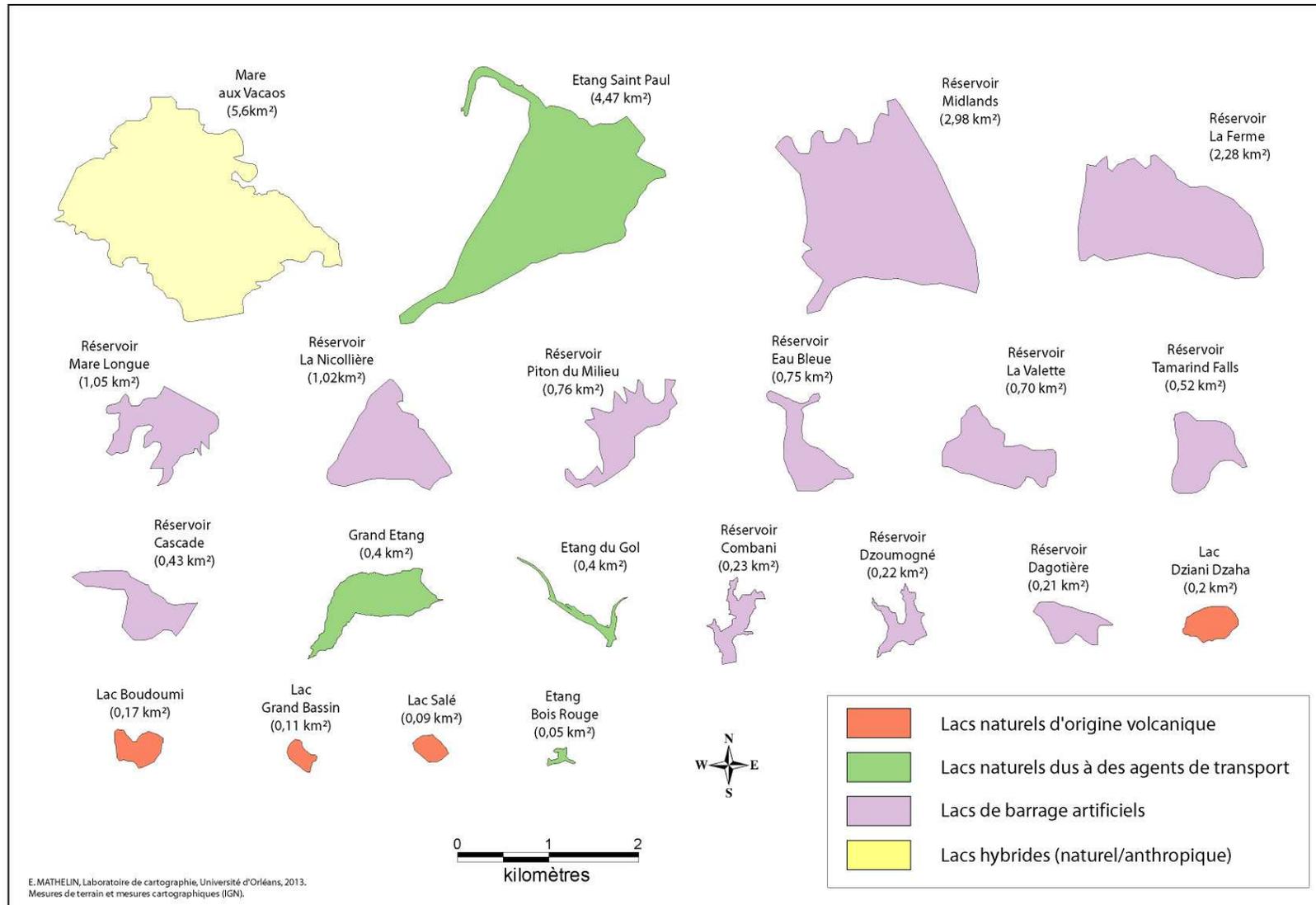


Figure 20: Classification des masses lacustres du sud-ouest de l'océan Indien

- ***Les lacs naturels d'origine volcanique.***

Ils correspondent aux lacs dont la formation est liée à l'activité volcanique des îles. La majorité des îles observées étant d'origine volcanique (volcanisme de point chaud), la formation d'appareils volcaniques (type cratère) favorise l'apparition de dépressions fermées favorables à la formation de lacs. Parmi ces lacs d'origine volcanique, il est nécessaire de distinguer les lacs de cratère, des lacs de caldeira⁹⁰, plus vastes. Ainsi, les lacs de cratère, comme le Dziani à Mayotte se caractérisent par une dépression fermée quasi-circulaire et une profondeur importante (**fig.21**). Le bassin d'alimentation est extrêmement réduit car il correspond à la surface du cône volcanique. Les dimensions de ces lacs sont souvent réduites et l'accumulation de débris volcaniques issus du cône favorise leur comblement. Une grande partie de ces types de lacs dérivent en mares, ou marécages comme le Piton de l'Eau (Réunion).

Ces types de lacs constituent de véritables curiosités tant géologiques que biologiques. En effet l'influence volcanique liée aux remontées de soufre modifie le plus souvent ces écosystèmes dont l'odeur si particulière et la couleur des eaux ont suscité de multiples croyances. Cet espace quasiment clos, isolé et répulsif est un lieu favorable au développement d'espèces endémiques. La notion d' « isolat dans un isolat » prend avec ce type de lac toute sa dimension.

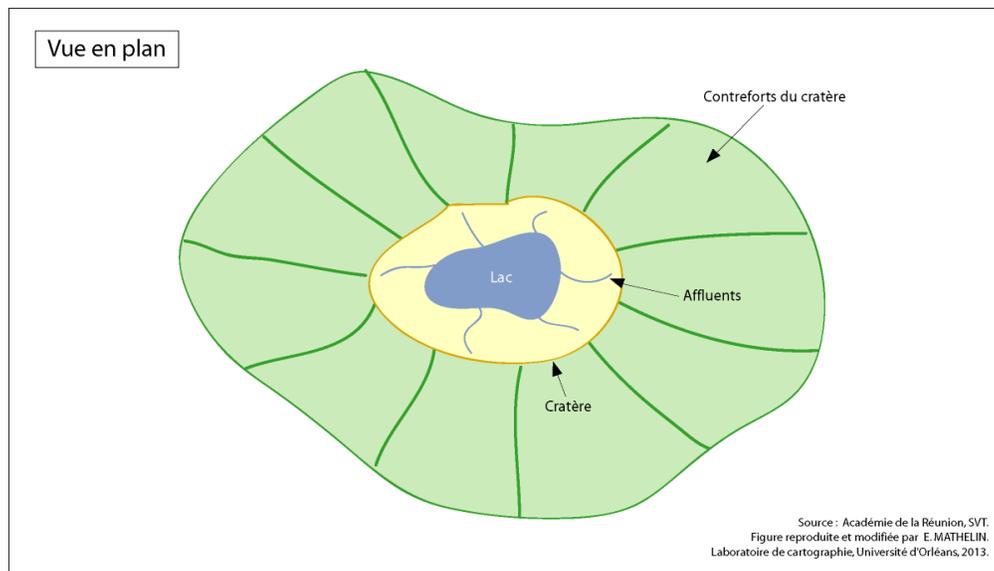


Figure 21 : Schéma d'un lac naturel d'origine volcanique

⁹⁰ Touchart.L, 200, op cité, p63-65

- ***Les lacs naturels dus aux grands agents de transport.***

Ces lacs correspondent à des processus morphodynamiques récents. Leur formation peut se faire d'une manière très progressive par une accumulation d'éléments détritiques favorisant la fermeture d'une dépression ou d'une manière brutale par un apport soudain d'éléments obstruant un écoulement et créant ainsi un lac (**fig.22**). Ces processus, liés à l'érosion, sont souvent récents et peuvent continuer à se développer selon les vitesses d'érosion et les matériaux disponibles. Les espaces insulaires, du fait de leur proximité avec la mer ou les océans sont des espaces favorables à la formation de lacs d'appendice marin. L'apport d'éléments détritiques issus de l'érosion du littoral et des parties intérieures de l'île constitue une masse de sédiments, déplacée au gré des fortes précipitations et susceptible d'obturer certaines embouchures, formant ainsi des lacs d'appendice marin. La Réunion présente divers cas comme celui de l'Etang Saint Paul, où le cordon de littoral ferme tout contact naturel avec la mer, créant une immense zone humide. Celle-ci se subdivise en deux parties⁹¹, la première correspond à un espace lagunaire marécageux, progressivement assaini par l'homme, et la seconde partie, plus profonde, est un lac dans lequel la végétation s'établit et amène à un comblement progressif des zones les moins profondes. Dans les espaces insulaires récents, caractérisés par des reliefs pentus et instables, les éboulements constituent un des processus érosifs les plus marquant à travers sa brutalité et l'impact paysager. Ainsi dans les vallées encaissées des îles volcaniques jeunes, ces éboulements sont créateurs de lacs quelquefois importants mais souvent éphémères. En effet les violentes précipitations tropicales, la fragilité des cônes d'éboulis ou la crainte des Hommes poussent à la destruction de ces entités naturelles mais menaçantes. L'exemple du lac de barrage de Mahavel⁹² dans les hauts de Saint Joseph à La Réunion permet de comprendre ce principe. Le 6 mai 1965, une écaille rocheuse de 1000m de hauteur, sur 700m de largeur et 50m de profondeur, soit plus de 50 millions de mètres cube, s'est détachée dans la vallée (Bras) de Mahavel, sans faire aucun blessé. Cet énorme éboulis a obstrué l'écoulement de la vallée et un immense lac s'est formé en arrière du barrage, menaçant, quelques kilomètres en aval, la commune de Saint Joseph. Face à ce risque de rupture, le Régiment du Service Militaire Adapté (RSMA) a décidé de creuser une brèche dans le barrage pour aider à une évacuation progressive. Les pluies diluviennes des semaines suivantes ont fini d'écarter la brèche et la vidange s'est effectuée sans catastrophe majeure. Ce type d'évènement s'avère relativement fréquent car La Réunion connaît régulièrement ce type de situation mais d'une moindre ampleur (Rivière du Mat, Salazie, Juillet 2010). Des études ont montré l'existence de lacs par le passé au sein des reliefs réunionnais. Ainsi, selon M.Cruchet (BRGM), le cirque de Mafate aurait abrité, dans sa partie basse

⁹¹ Territoire Côte Ouest (TCO), 2005, p186-205

⁹² BRGM, 2011, op cité

pendant près de 150ans⁹³, un lac dont la formation serait due à un éboulement. Le manque de données et d'études nous impose la prudence vis à vis de cet exemple mais ce dernier vient étayer nos hypothèses.

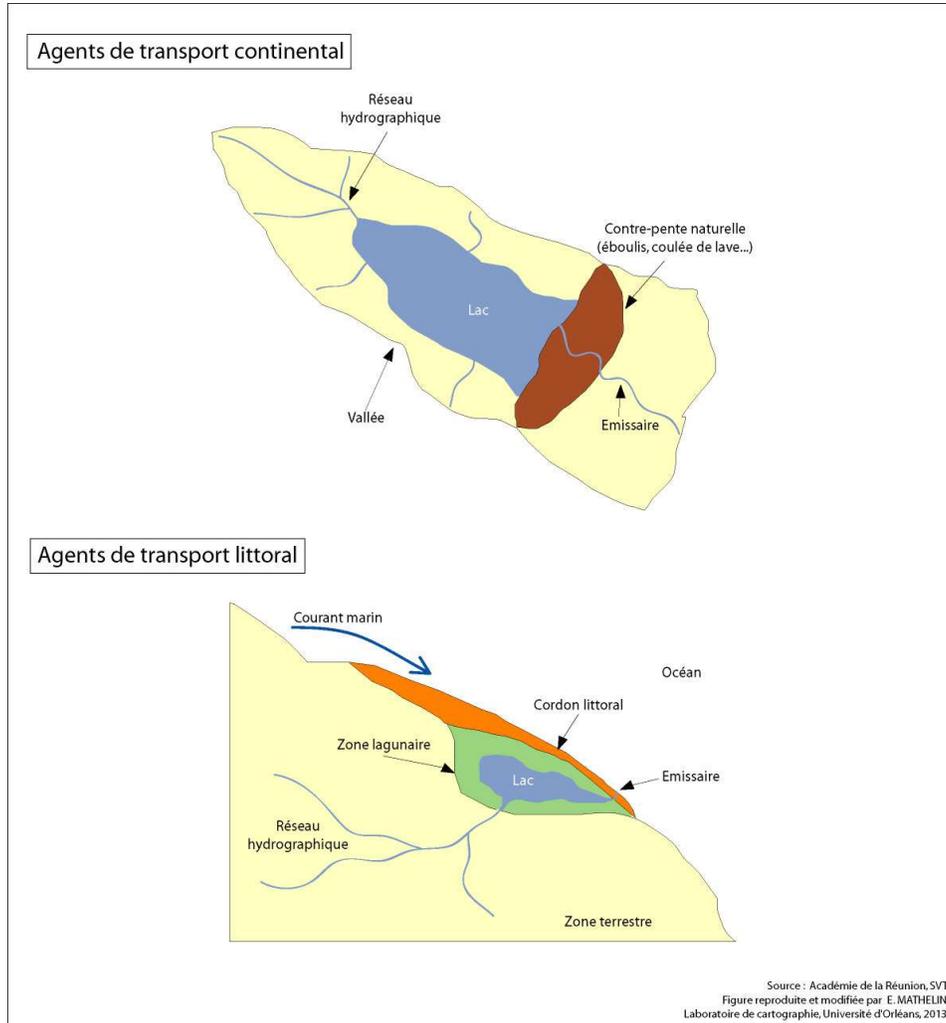


Figure 22 : Schémas de lacs naturels dus aux grands agents de transport

- ***Les lacs de barrage artificiels.***

Les lacs de barrage ou réservoirs sont d'origine anthropique, ce qui explique leur formation récente (quelques décennies). Leur principe étant la construction d'un barrage à partir de matériaux variés (rochers, sables, béton...) afin d'obturer une zone creuse pour que l'eau s'accumule en arrière. Contrairement aux barrages naturels (suite à des transports de matériaux), ces barrages sont équipés de structure d'écoulement de surface et de vidange afin de limiter la pression de la masse d'eau sur

⁹³ JIR , 04/04/2004

le barrage et effectuer des lâchés d'eau ou des curages selon les besoins (**fig.23**). Les fonctions de ces barrages sont variées, ils peuvent être utilisés comme simples réservoirs d'eau en vue des périodes sèches de l'année (réservoirs de Combani et Dzoumogné à Mayotte), de points d'eau pour l'irrigation (réservoir Tamarind falls, réservoir La Ferme à Maurice) ou de lieux de production électrique avec la mise en place de centrale intégrée au barrage (barrage de Takamaka 1 et 2 à La Réunion ou le réservoir de Mare Longue à Maurice). Ces types de réservoirs anthropiques, présents sur les espaces insulaires se composent de trois grandes familles : les lacs en arrière d'un barrage en terre, les lacs de barrage en arrière d'un barrage en enrochement et les lacs en arrière d'un barrage en béton. Les structures en terre sont souvent les plus anciennes (datant du XIX^{ème} siècle à Maurice)⁹⁴, les matériaux meubles avec ou sans noyau étanche ne nécessitent aucun substrat particulier pour être installé. Les volumes de matériaux sont certes importants mais le coût reste inférieur à celui des barrages en béton. Cependant beaucoup de ces ouvrages anciens connaissent des réfections en maçonnerie afin de les consolider sur les zones les plus fragiles. La mise en place de structures de vidange (type vanne de fond ou moine) et de déversoirs de surface permet de gérer au mieux le niveau de ces lacs et effectuer des vidanges totales ou partielles afin d'éviter le comblement prématuré. Le réservoir de la Nicolère à Maurice est un exemple caractéristique de ce type de barrage ancien (1929) dont la longévité est forte du fait de la structure souple de la digue en terre à même d'absorber les déformations liées à la poussée de l'eau. Sur les territoires observés, les lacs de barrage en enrochement sont beaucoup plus rares malgré leur solidité plus importante que les barrages en terre. Ils se composent d'importants blocs rocheux avec des systèmes de vidange ou des déversoirs de surface tout comme les barrages en terre. Leur construction nécessite le mélange de matériaux (terre ou béton) divers afin de rendre étanche le barrage. Le seul exemple recensé est le réservoir des Midlands à Maurice dont la construction a été achevée en 2002. Dernier type, les lacs de barrage en béton, ils constituent les exemples les résistants des réservoirs anthropiques. Ils s'adaptent parfaitement aux vallées étroites et encaissées des zones montagneuses. Ce type de barrage constitué d'une digue en béton, droite ou voûtée, ne peut s'inscrire que sur des substrats rocheux afin d'éviter tout glissement. Les digues droites ou barrage-poids sont les plus massifs et retiennent les volumes d'eau de part leur masse, à l'inverse des digues voûtées qui répartissent la pression de l'eau sur les versants. Les structures de vidange et de déversoir de surface sont très souvent complétées par des mécanismes hydroélectriques qui permettent d'utiliser la pression de l'eau pour la production électrique. Les exemples de barrage en béton observés à La Réunion comme le barrage de Takamaka 1 et 2 sont des digues voûtées capables d'absorber les importantes variations de niveau liées aux excès climatiques tropicaux. Construits dans les années 1960, cette

⁹⁴ CWA, 2011

structure hydroélectrique composée d'une chaîne de deux barrages en béton produit plus de 40MW et alimente ainsi une grande partie de l'Est de l'île.

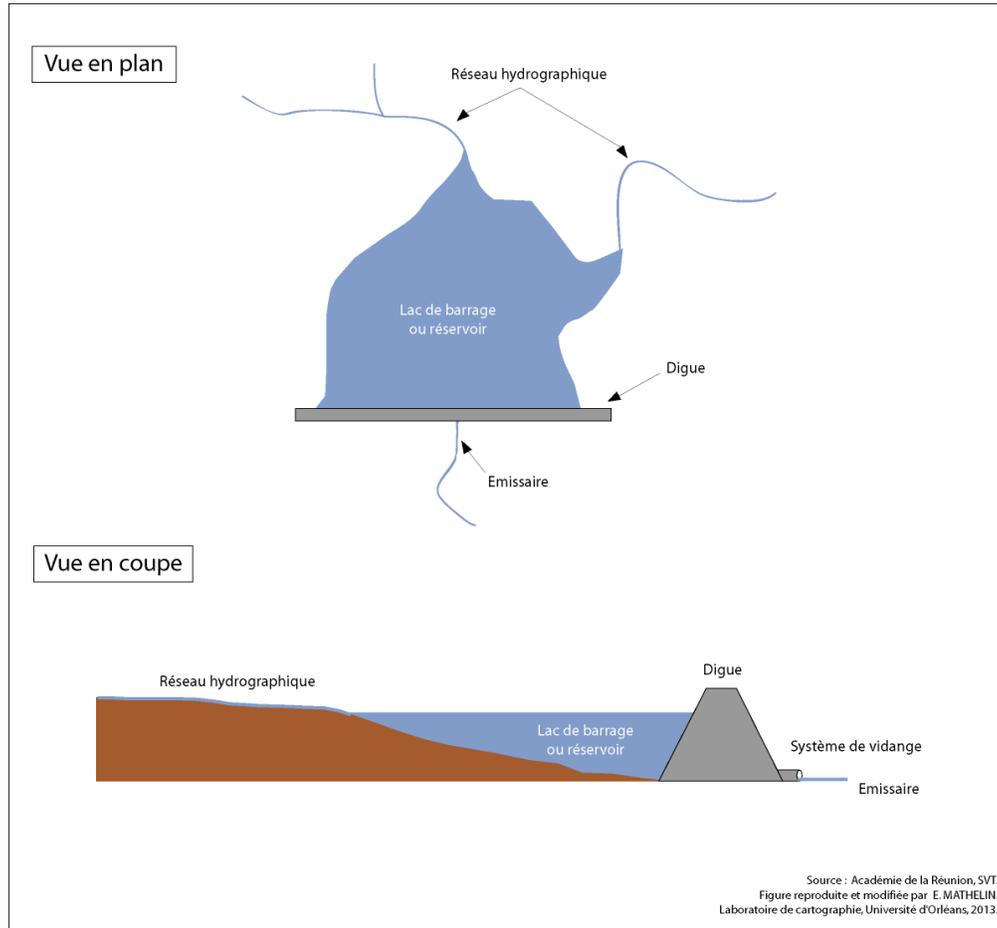


Figure 23 : Schéma d'un lac de barrage

- *Les lacs hybrides (origine naturelle ayant subi une anthropisation).*

Les lacs hybrides constituent une catégorie permettant d'appréhender au mieux la vie complexe des lacs. La formation de ce type de lac est naturelle, utilisant les dépressions naturelles, souvent d'origine volcanique pour les espaces insulaires. Afin de répondre à des besoins grandissants en eau (domestique, irrigation, hydroélectricité), les Hommes ont agrandi ces lacs naturels en surélevant leur niveau par l'intermédiaire de digues (en terre, roche ou béton) (fig.24). Le lac naturel se trouve alors ennoyé dans un lac artificiel de plus grande ampleur. Ce type de lac est assez rare car il nécessite des sites particuliers marqués par des emboîtements de dépressions ou des vallées peu pentues permettant la succession de barrages. Le principal problème est l'impossibilité de les vidanger dans leur totalité car la cuvette du lac naturel conserve son eau

malgré la vidange du lac artificiel, l'évacuation des sédiments s'en trouve alors impossible. L'île Maurice présente un cas de lac hybride avec la Mare aux Vacaos⁹⁵, qui est un réservoir artificiel surélevé afin d'envoyer un lac de cratère. Le site a nécessité la construction de trois digues en terres et maçonnerie afin d'obturer les vallées et permettre l'ennoiement de la zone, constituant ainsi le plus grand lac de barrage de l'île avec une superficie de 560ha et un volume de plus de 25Mm3 pour alimenter en eau les villes environnantes.

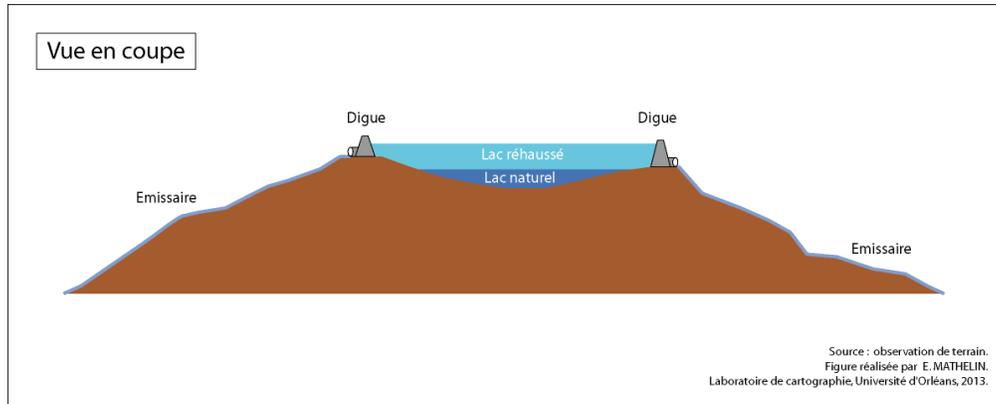


Figure 24 : Schéma d'un lac hybride

Cette proposition de classification semble couvrir l'ensemble des lacs présents dans la zone mais s'avère bien sûr incomplète au regard d'autres îles de la zone tropicale. Il paraîtrait indispensable de proposer une classification plus complète des lacs insulaires mais cela nécessiterait d'y consacrer un travail de recherche à part entière afin de répondre à cette problématique très vaste croisant les enjeux de la classification mondiale et le recensement des différents types de lacs existants et de leurs spécificités.

Chapitre 2.2. Présentation des principaux terrains d'étude.

A partir des recensements effectués et de la classification des lacs que nous avons pu déterminer, en vertu du critère morphologique, nous allons donc effectuer une présentation des principaux terrains d'étude retenus dans le cadre de ce travail de recherche sur le sud-ouest de l'océan Indien. Le choix de ces lacs se base avant tout sur leur intérêt géographique et sur les bases de données dont nous disposons.

⁹⁵ CWA, 2011

2.2.1. Les lacs naturels d'origine volcanique.

La présence de lacs d'origine volcanique au sein des espaces insulaires observés est liée à la formation géologique de ces derniers. La présence de cratères, aujourd'hui inactifs, constitue des dépressions idéales pour la formation de lacs. La majorité des lacs de cratère que nous avons pu observer est de taille réduite mais leur évolution souvent rapide impose de réfléchir à leurs spécificités. Parmi l'ensemble des masses d'eau, les deux principaux lacs de cratère sur lesquels nous appuierons nos observations sont Dziani Dzaha à Mayotte et Grand Bassin à Maurice.

2.2.1.1. Dziani Dzaha à Mayotte.

Le lac Dziani Dzaha est situé sur l'île de Mayotte dans la partie de Petite Terre au cœur d'un cratère à une altitude de 20m. D'une superficie étroite de 17,5 hectares, ce lac de cratère se caractérise principalement par sa forme cylindrique qui le rend tout à fait exceptionnel pour toute analyse morphologique. Cette formation résulte d'un volcanisme explosif (rapport BRGM) ayant affecté l'île, il y a près de 500 000ans et dont les traces restent parfaitement conservées. Ce site se distingue aussi par son réseau hydrographique endoréique qui aboutit dans une masse d'eau chargée en soufre du fait de l'ancienne activité volcanique. Le bassin d'alimentation réduit (0,9km²) se compose d'un couvert forestier avec des pentes fortes oscillant entre 30 et 40%. L'ensemble du site est donc relativement protégé des influences extérieures et présente des composantes favorables au développement d'espèces endémiques.

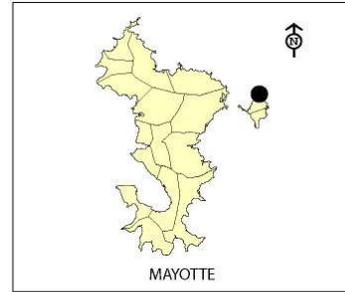
En mahorais, le terme « dziani » signifiant lac, l'appellation du lac devrait plutôt être « lac Dzaha » au lieu de « lac Dziani » comme cela est fait dans l'usage courant. Malgré cette erreur d'appellation, ce plan d'eau attire de nombreux touristes venus observer la couleur émeraude des eaux. Un seul sentier de randonnée permet d'effectuer le tour du cratère, l'approche de la masse d'eau étant déconseillée du fait de la forte teneur en soufre. La présence humaine est relativement faible ; aucune construction n'est présente, ce qui limite les éventuelles nuisances sur les écosystèmes endémiques.

Les connaissances scientifiques relatives à ce plan d'eau restent parcellaires du fait de la nature hostile des lieux. En effet des recherches pourraient être menées pour connaître les éventuelles relations du lac avec l'espace maritime dont il est séparé par le rebord du cratère mais les intérêts scientifiques portés à l'île de Mayotte se concentrent sur d'autres problématiques (gestion de la ressource en eau douce). Pourtant l'originalité morphologique du site ainsi que les paysages nécessiteraient un aménagement touristique plus poussé.

Lac Dziani (Dzaha), Commune de Dzaoudzi (Mayotte).

Latitude : 12°46 S
Longitude : 45°17 E

Projection Lat/long (WGS84)



Carte IGN au 1/25000ème (source : Géoportail, 2013)



Photographie aérienne du lac de cratère,
isolat d'eau douce au coeur de l'océan Indien.
(Cliché : J. Faliu)



Photographie de l'entrée du sentier permettant l'accès
au porteur du lac.
(Cliché : J. Faliu)



Photographie aérienne (source : Géoportail, 2013)

Type de lac :	Lac naturel
Origine du lac :	Lac de cratère volcanique
Superficie du lac :	0,2 km ²
Capacité du lac :	Non évaluée
Trait de côte :	1,8 km
Altitude du lac :	6 m
Superficie du bassin d'alimentation :	0,90 km ²
Vocation du lac :	Réserve naturelle et randonnée

Données : DAF Mayotte et mesures personnelles

E.MATHELIN, Laboratoire de cartographie, Université d'Orléans, 2013.
Source : IGN, Données personnelles

Figure 25 : Planche de présentation du lac Dziani (Mayotte)

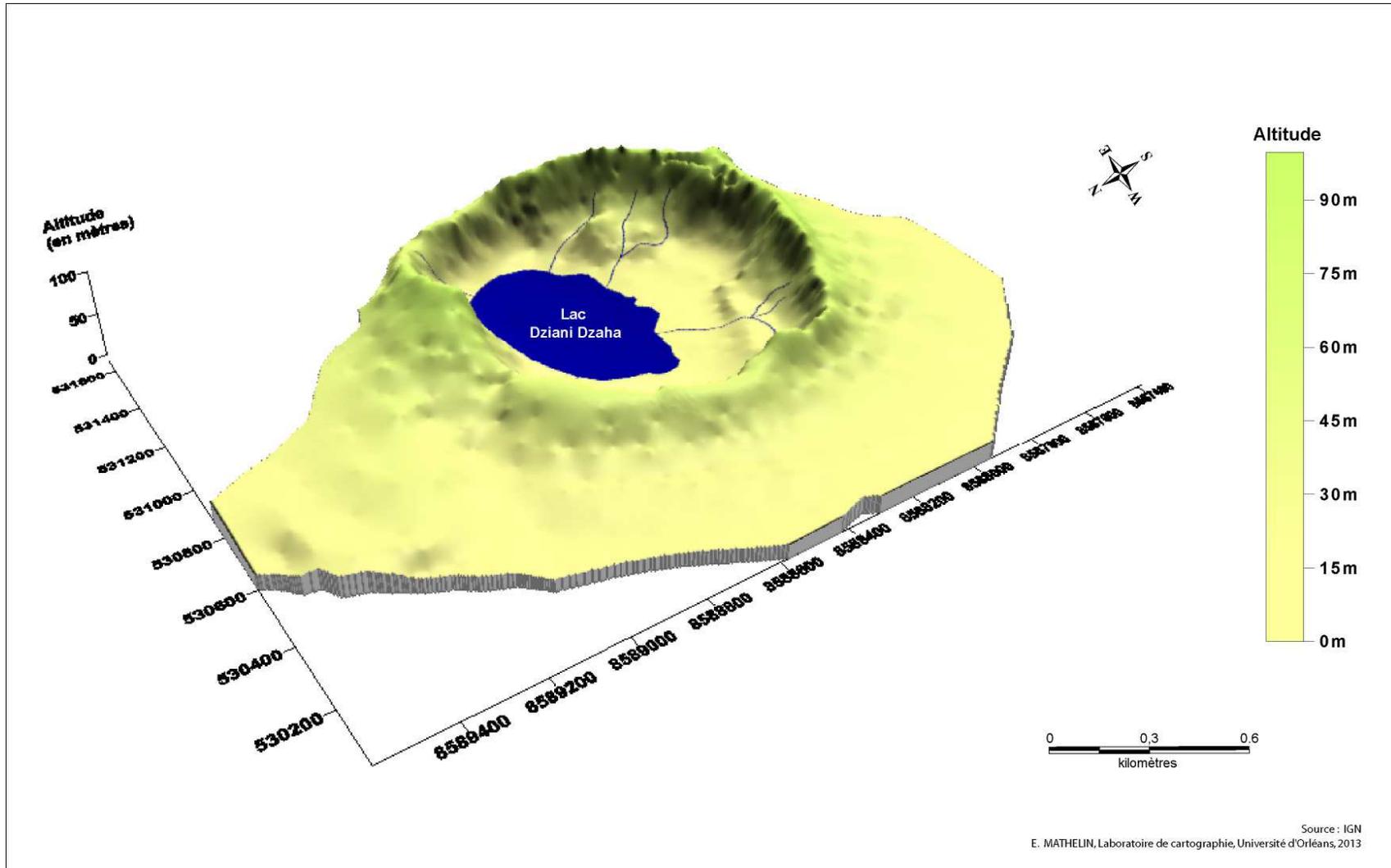


Figure 26 : Modèle numérique de terrain du site du lac Dziani (Mayotte)

2.2.1.2. Grand Bassin à Maurice.

Le site de Grand Bassin situé au sud-ouest de l'île Maurice, à une altitude de 660m, abrite un lac de cratère. Héritage du passé volcanique de l'île, cette dépression présente des rebords plus adoucis que les autres lacs de cratères observés (Dziani Dzaha à Mayotte). Ce plan d'eau d'un pourtour de 1,33km et d'une superficie de 11 hectares constitue l'un des rares lacs naturels de l'île. Tout comme la grande majorité des lacs de cratère, le réseau hydrographique est endoréique même si dans ce cas, l'étroitesse du cratère limite le réseau à quelques sources. La profondeur du lac et son volume sont inconnus du fait de l'importante dévotion religieuse dont il fait l'objet.

Reconnu comme un lac sacré par la religion hindouiste, ce plan d'eau fait l'objet d'une sacralisation. La présence de ces pratiques religieuses et sa dimension sacrée limitent voire interdisent toute recherche scientifique approfondie. Contrairement à d'autres exemples de lacs de cratère, les eaux de ce lac ne semblent pas impropres à la santé, étant les milliers de Mauriciens qui viennent tous les ans en prélever. De nombreuses légendes alimentent l'histoire de ce lac, il serait relié directement aux eaux du Gange selon les croyances locales. Ce site de Grand Bassin (ou Ganga Talao en Hindi) accueille tous les ans des fêtes hindouistes importantes en particulier la fête de Maha Shivaratee qui voit pendant dix jours affluer des milliers Hindouistes venus de l'île Maurice mais aussi d'autres régions du monde (Inde, Réunion...). L'immense statue du dieu Shiva trônant à l'entrée du site montre toute la dimension religieuse de ce lac.

Contrairement à d'autres lacs sacrés observables dans la zone (Dziani Boudoumi aux Comores) dont les croyances locales interdisent de s'en approcher, ce plan d'eau se distingue par une sacralisation visible avec la présence de statues et de temples mais aussi par un aménagement du site qui au-delà de la dimension religieuse, accueille aussi des touristes venus visiter les lieux. L'enjeu principal de ce plan d'eau réside dans l'analyse des impacts de cette sacralisation sur l'environnement lacustre tant sur les écosystèmes que sur les territoires alentours. Ce plan d'eau dont la gestion incombe au gouvernement mauricien marque ici tout l'imbrication de cette société entre le religieux et le politique.

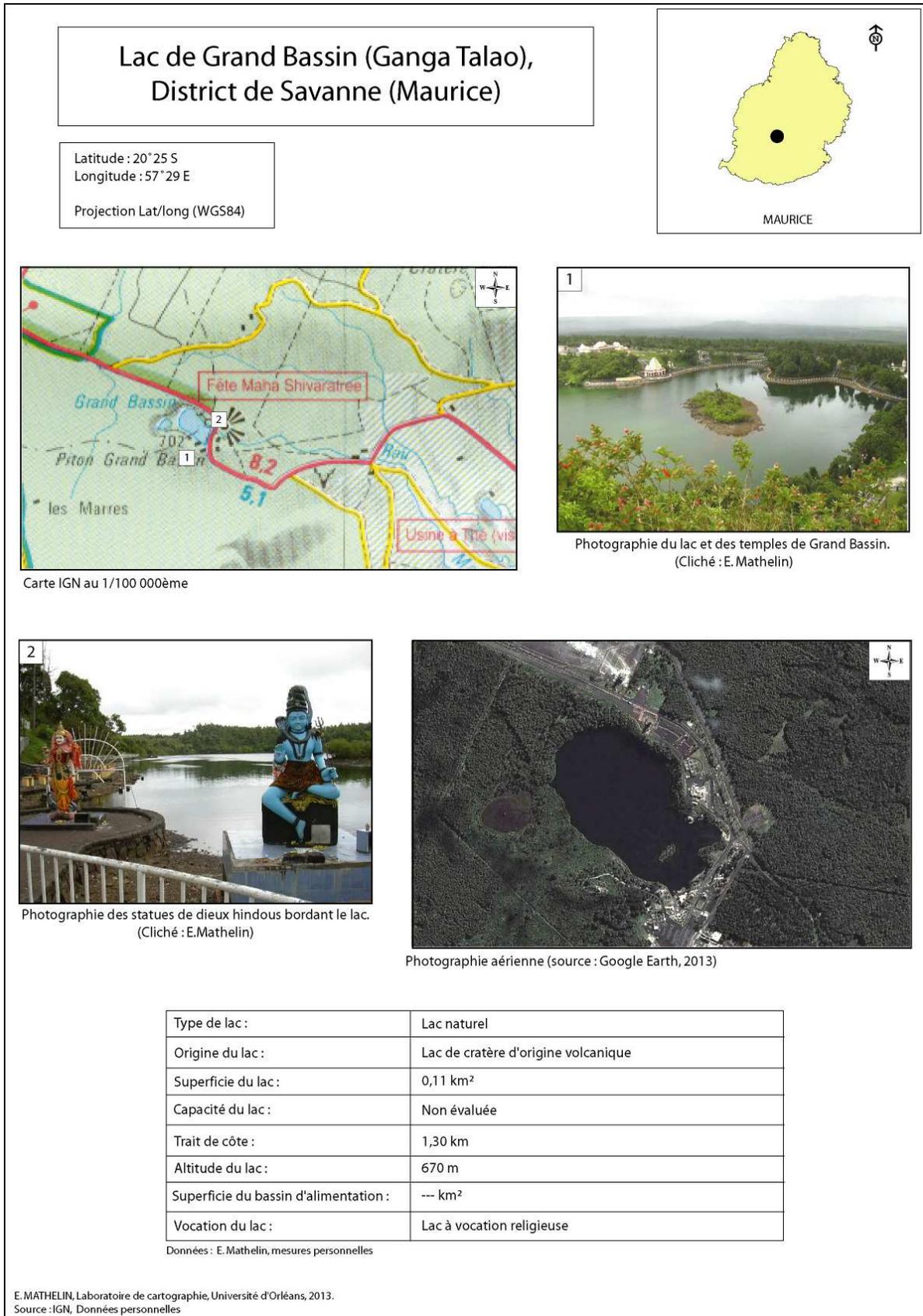


Figure 27 : Planche de présentation de Grand Bassin (Maurice)

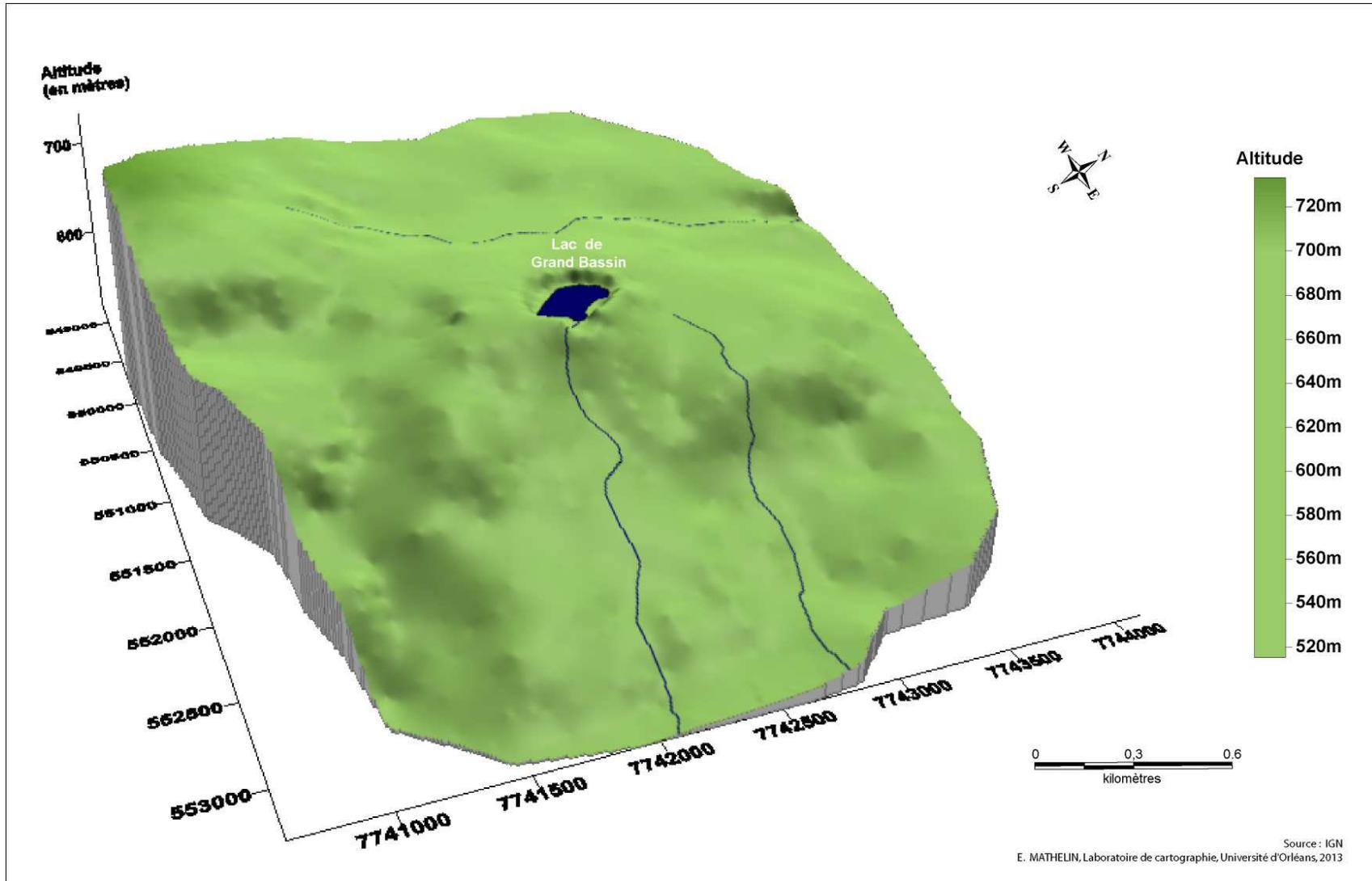


Figure 28 : Modèle numérique de terrain du site de Grand Bassin (Maurice)

2.2.2. Les lacs naturels dus aux grands agents de transport.

Les lacs naturels formés par de grands agents de transport constitue le second grand ensemble lacustre observable dans ces espaces insulaires. Leur formation s'explique par l'obturation d'un chenal d'écoulement formant ainsi une contre-pente et permettant à un lac de se former. Les origines de cette contre-pente peuvent être terrestres suite à un éboulement important voire une coulée volcanique comme cela est observable pour le Grand Etang à La Réunion. De même cette contre-pente peut elle aussi trouver ses origines dans des facteurs maritimes, on pense à l'action de la houle favorisant la formation d'un cordon littoral comme l'on peut l'observer pour les plans d'eau côtiers tel que l'Etang Saint Paul à La Réunion.

2.2.2.1. Grand Etang à La Réunion.

Le Grand Etang de La Réunion est un plan d'eau naturel situé à l'est de l'île de La Réunion sur la commune de Saint Benoît. Ce lac datant de 5 730 ans⁹⁶ doit sa formation à la présence d'une coulée volcanique obstruant une vallée d'écoulement. Ainsi un lac d'une superficie moyenne de 40 hectares a pu s'étendre en arrière de cette coulée. Les accumulations de sédiments ont progressivement comblé cette dépression dont la profondeur moyenne est aujourd'hui inférieure à 10m. Ce lac est délimité par d'immenses parois (400m de dénivelé) marquant la terminaison d'un plateau d'altitude (1300-1400m), l'Ilet Patience. Ce plateau constitue l'essentiel du bassin d'alimentation dont la superficie atteint 5,90km², cette zone forestière reçoit d'abondantes précipitations entre 3500 et 5000mm d'eau par an dont une partie est captée pour alimenter la commune de la Plaine des Palmistes tandis que le reste se déverse dans le lac par l'intermédiaire des cascades d'Annette. Ce lac s'inscrit au cœur d'un réseau endoréique car l'absence d'émissaire, il impose un fonctionnement hydrologique tout à fait particulier.

Ce site se caractérise par un rythme hydrologique particulier avec d'importantes variations de niveau tout au long de l'année. Ce marnage pouvant atteindre plusieurs mètres s'explique par les précipitations abondantes favorisant le remplissage de la cuvette, mais la problématique essentielle du site réside dans l'évacuation de ces eaux accumulées (près de 7 millions de mètres cube) qui semblent disparaître soit par évaporation soit par infiltration. La détermination de ce cheminement hydrologique constitue une problématique scientifique de premier ordre dont quelques hypothèses ont été avancées par O.Banton⁹⁷.

⁹⁶ Banton.O, 1985

⁹⁷ Banton.O, 1985

L'isolement du site du fait de la topographie et le rythme hydrologique lacustre favorisent le développement d'écosystèmes adaptés et en grande partie endémiques. Les paysages ont su s'adapter aux contraintes hydrologiques avec la formation de strates végétales caractéristiques du site. La richesse écologique et paysagère a permis d'inscrire ce plan d'eau et son bassin d'alimentation dans le périmètre du Parc naturel des Hauts de La Réunion⁹⁸. Il constitue un réservoir de la biodiversité des îles. Néanmoins, les outils réglementaires du parc naturel ont un impact limité au regard des menaces sérieuses qui pèsent sur ce site avec les multiples pollutions engendrées par la fréquentation touristique mais aussi la présence de plus en plus d'espèces envahissantes exotiques (goyaviers, rats, tangué...). Ce site possède un suivi scientifique relativement conséquent tant sur le plan hydrologique⁹⁹ que biologique¹⁰⁰, les nombreuses données mises à disposition des organismes institutionnels vont servir de support à l'analyse de l'évolution de cette masse d'eau.

2.2.2.2. L'Etang Saint Paul à La Réunion.

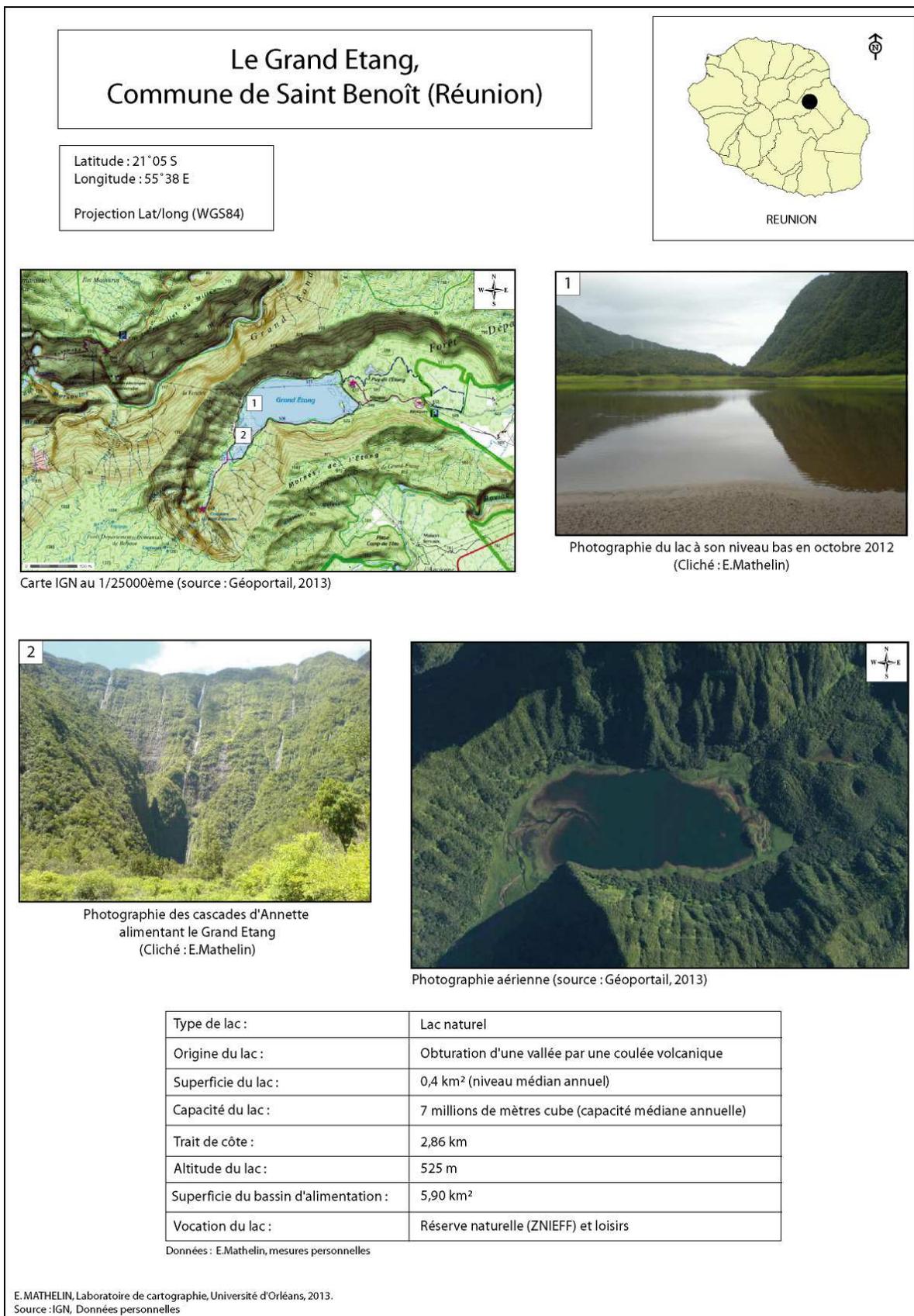
L'Etang Saint Paul est un plan d'eau littoral de type lagunaire situé dans la partie ouest de l'île sur la commune du même nom. Ce lac est la plus vaste zone humide de La Réunion avec 447 hectares mais se décompose aujourd'hui distinctement en deux ensembles : le lac et la zone marécageuse¹⁰¹. Malgré un toponyme assimilable à une structure anthropique (étang), ce plan d'eau constitue l'un des lacs naturels majeurs de l'île. Il est à noter que le toponyme d' « étang » est utilisé sur l'île pour nommer tous les plans d'eau côtiers (Etang du Gol, Etang de Bois rouge). Ce lac est situé en arrière d'un étroit cordon littoral formant une lagune. Il s'étend au sein de la plaine alluviale de Saint Paul composée d'éléments détritiques d'origine fluvio-marine. L'accumulation de sédiments, amenés par les différentes ravines, en arrière de ce cordon, a favorisé le remplissage progressif de cette lagune. Son bassin d'alimentation couvrant plus de 106km² s'étend jusqu'au sommet du Maïdo à une altitude de 2250m. Il est marqué par d'immenses planèzes basculées entaillées par des ravines. La zone de contact entre la plaine et ces planèzes se caractérise par un relief abrupt et découpé avec des ravines qui dessinent d'importants canyons dans lesquels on retrouve des cascades.

⁹⁸ « Carte du parc national de La Réunion », 2013

⁹⁹ Base de données de l'Office de l'eau, <http://banquededonnees.eaureunion.fr>

¹⁰⁰ Lacoste.M, Delbosc.P, Picot.F, 2011, p41-42

¹⁰¹ TCO, 2005, op cité



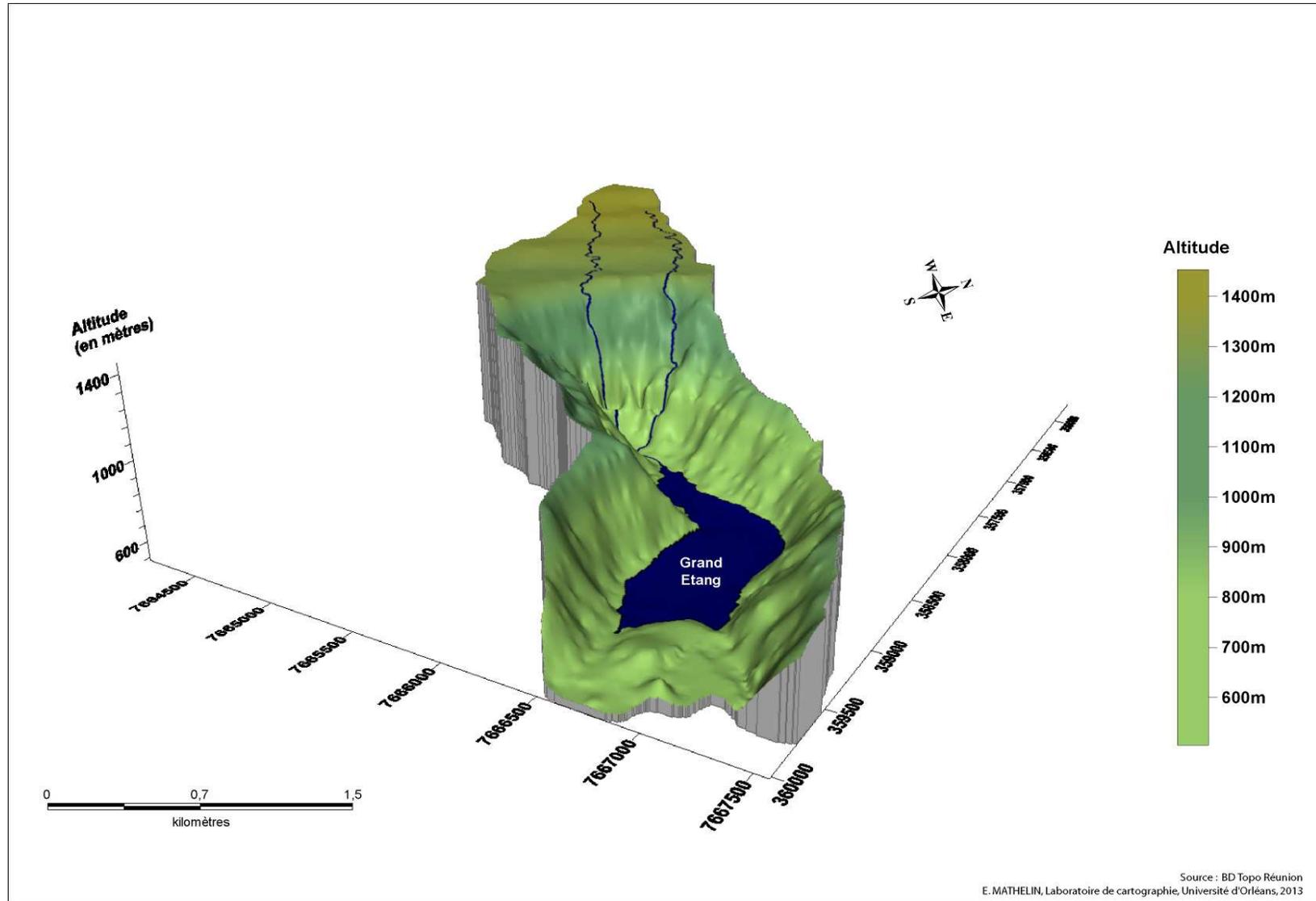


Figure 30 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation du Grand Etang (Réunion)

Situé dans la partie ouest de l'île, au bord de la mer avec des volumes de précipitations inférieurs à 1000mm en moyenne, l'Etang Saint Paul présente une configuration littorale, bien différente des autres plans d'eau déjà présentés qui étaient plutôt situés à l'intérieur des terres et en altitude. La particularité de ce plan d'eau réside dans ses relations avec l'espace maritime. En effet l'interaction entre le milieu marin et les eaux douces intérieures se base sur des équilibres fragiles qui peuvent être remis en cause par certains aménagements (travaux sur le cordon littoral, pompages...) déstabilisant ainsi l'ensemble des écosystèmes. Les remontées d'eau saumâtres sont un problème connu mais qui ne cesse de s'accroître face aux diverses pressions auxquelles est soumise la nappe d'eau¹⁰². Malgré cela, il s'y est donc développé des écosystèmes originaux mais avec un endémisme moins marqué que sur les autres lacs déjà observés. Cet écosystème à l'interface entre le monde maritime et terrestre se marque donc par sa biodiversité en particulier animale avec la présence d'une importante avifaune dont 17 espèces sur 28 constituent un intérêt patrimonial¹⁰³. Cette richesse a permis la classification du site en réserve naturelle à partir de 2008¹⁰⁴.

Devenue gestionnaire depuis 2009, la mairie de Saint Paul se trouve confrontée à de nombreux enjeux. En effet le lac est situé en milieu urbain et le manque de place sur le littoral impose des pressions grandissantes sur cette réserve naturelle exposée régulièrement à des pollutions diverses (déchets, rejets divers...). Les excès climatiques posent aussi d'importantes difficultés avec des inondations régulières¹⁰⁵ dues à des constructions situées dans l'aire de l'étang, ce qui impose à la commune d'effectuer une gestion brutale du cordon littoral en pratiquant des ouvertures au tractopelle. La revalorisation du marais constitue aussi un enjeu écologique et touristique pour permettre de valoriser cette avifaune par l'intermédiaire de la restauration des canaux de navigation. Apparaît une problématique plus structurelle, liée au cycle de vie du lac qui se trouve confronté à un comblement progressif et à une fermeture de la masse d'eau libre. L'entretien des berges, la lutte contre certaines espèces envahissantes¹⁰⁶, le maintien d'un niveau d'eau et une meilleure gestion du cordon littoral constituent tout autant de questions que le nouveau gestionnaire doit résoudre pour maintenir durablement cette masse d'eau en l'état.

¹⁰² TCO, 2005, op cité

¹⁰³ Lacoste.M, Delbosc.P, Picot.F, 2011, op cité, p32-35

¹⁰⁴ Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Decret du 2 Janvier 2008 relatif au classement de l'Etang Saint Paul (Réunion) en réserve naturelle, Journal Officiel n°3 du 4 janvier 2008.

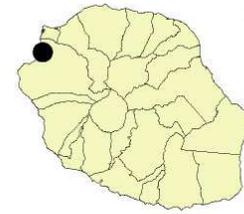
¹⁰⁵ L'info.re, 04/02/2010

¹⁰⁶ Lacoste.M, Delbosc.P, Picot.F, 2011, p32-35

L'Etang Saint Paul, Commune de Saint Paul (Réunion)

Latitude : 20°59 S
Longitude : 55°17 E

Projection Lat/long (WGS84)



REUNION



Carte IGN au 1/25000ème (source : Géoportail, 2013)



Photographie du cordon littoral séparant le lac de la mer.
(Cliché : E.Mathelin)



Photographie des canaux du lac obstrués par la végétation.
(Cliché : E.Mathelin)



Photographie aérienne (source : Géoportail, 2013)

Type de lac :	Lac naturel
Origine du lac :	Lac formé en arrière d'un cordon littoral
Superficie du lac :	4,47 km ² (zone humide incluse)
Capacité du lac :	Non évaluée
Trait de côte :	4,02 km (hors zone humide)
Altitude du lac :	1 m
Superficie du bassin d'alimentation :	106 km ²
Vocation du lac :	Réserve naturelle et loisirs

Données : E.Mathelin, mesures personnelles

E. MATHÉLIN, Laboratoire de cartographie, Université d'Orléans, 2013.
Source : IGN, Données personnelles

Figure 31 : Planche de présentation de l'Etang Saint Paul (Réunion)

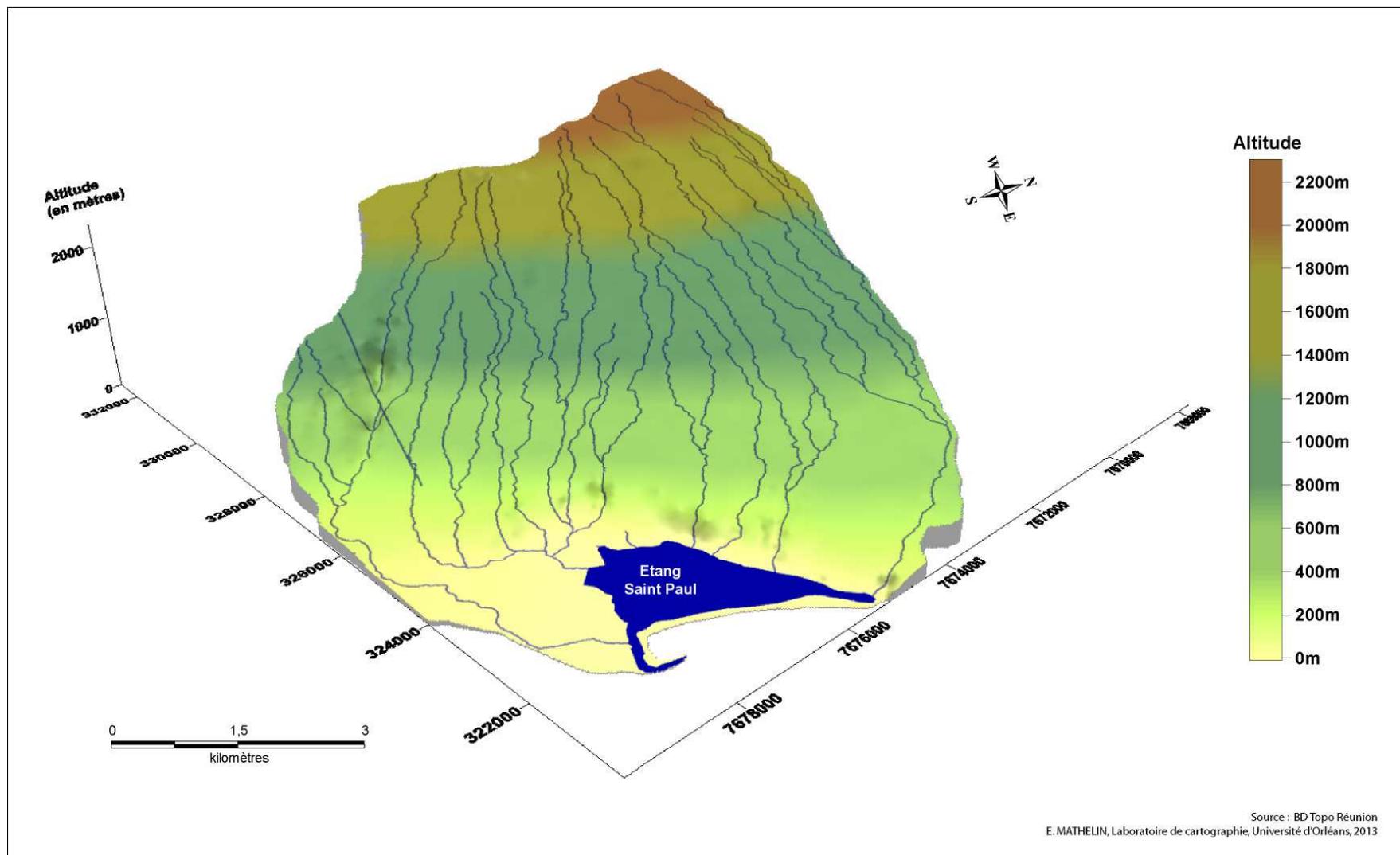


Figure 32 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation de l'Etang Saint Paul (Réunion)

2.2.3. Les lacs de barrage artificiels.

Les lacs de barrage ou lacs-réservoirs correspondent à des entités lacustres d'origine anthropique. Ce sont des réservoirs d'eau douce de grande ampleur dont la contre-pente est constituée par une digue (remblais structurés, maçonnerie ou béton) intégrant un système de vidange et un déversoir de surface. L'eau ainsi stockée est restituée en fonction des besoins en aval de la digue par une station qui répartit l'eau dans les divers réseaux. Ce modèle de lacs artificiels se retrouve fréquemment sur l'île Maurice avec la multiplication de ce type d'aménagements dont les dimensions ne cessent de croître comme le montre le réservoir des Midlands. De même l'île de Mayotte s'est elle aussi dotée de ces aménagements avec les réservoirs de Combani et Dzoumogné.

2.2.3.1. Les réservoirs de Combani et Dzoumogné à Mayotte.

L'île de Mayotte possède deux lacs-réservoirs créés respectivement en 1997 (Combani) et 2000 (Dzoumogné). Ils se situent dans la partie nord de l'île sur les communes qui portent respectivement leur nom, à l'intérieur des terres. Le réservoir de Combani peut stocker 1,5 millions de mètres cube¹⁰⁷ sur une superficie de 23 hectares¹⁰⁸. Sa structure se compose d'une digue en matériaux meubles capable d'absorber plus facilement les variations tectoniques de l'île ainsi que d'un déversoir de crue pour faire face aux excès cycloniques. Situé à une altitude de 116m, il est dominé par un bassin d'alimentation de 4,60km² majoritairement composé de forêts plus ou moins dégradées. Le réservoir de Dzoumogné, plus récent a une capacité de stockage supérieure car il atteint 2,5 millions de mètres cubes¹⁰⁹ pour une superficie équivalente de 22 hectares¹¹⁰. Ce réservoir est aussi composé d'une digue en matériaux meubles et d'un déversoir de surface. Le bassin d'alimentation de Dzoumogné, certes plus vaste (7,6km²) est aussi marqué par une prépondérance du couvert forestier.

¹⁰⁷ SDAGE 2010-2015 de Mayotte, 2009, p61

¹⁰⁸ Leboulanger.C, 2008, p4-6

¹⁰⁹ Comité de bassin de Mayotte, 2009, p61

¹¹⁰ Leboulanger.C, 2008, op cité

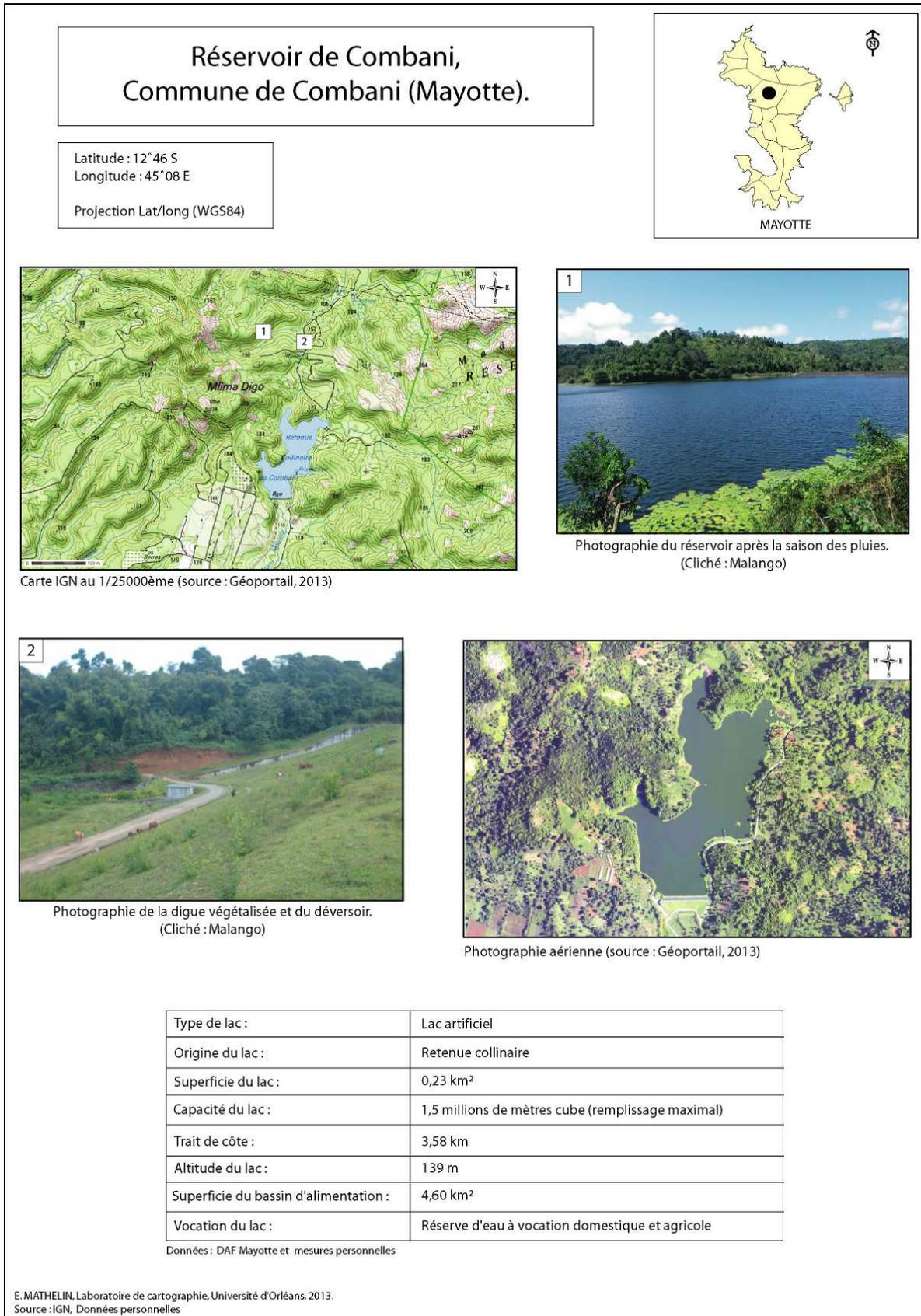


Figure 33 : Planche de présentation du réservoir de Combani (Mayotte)

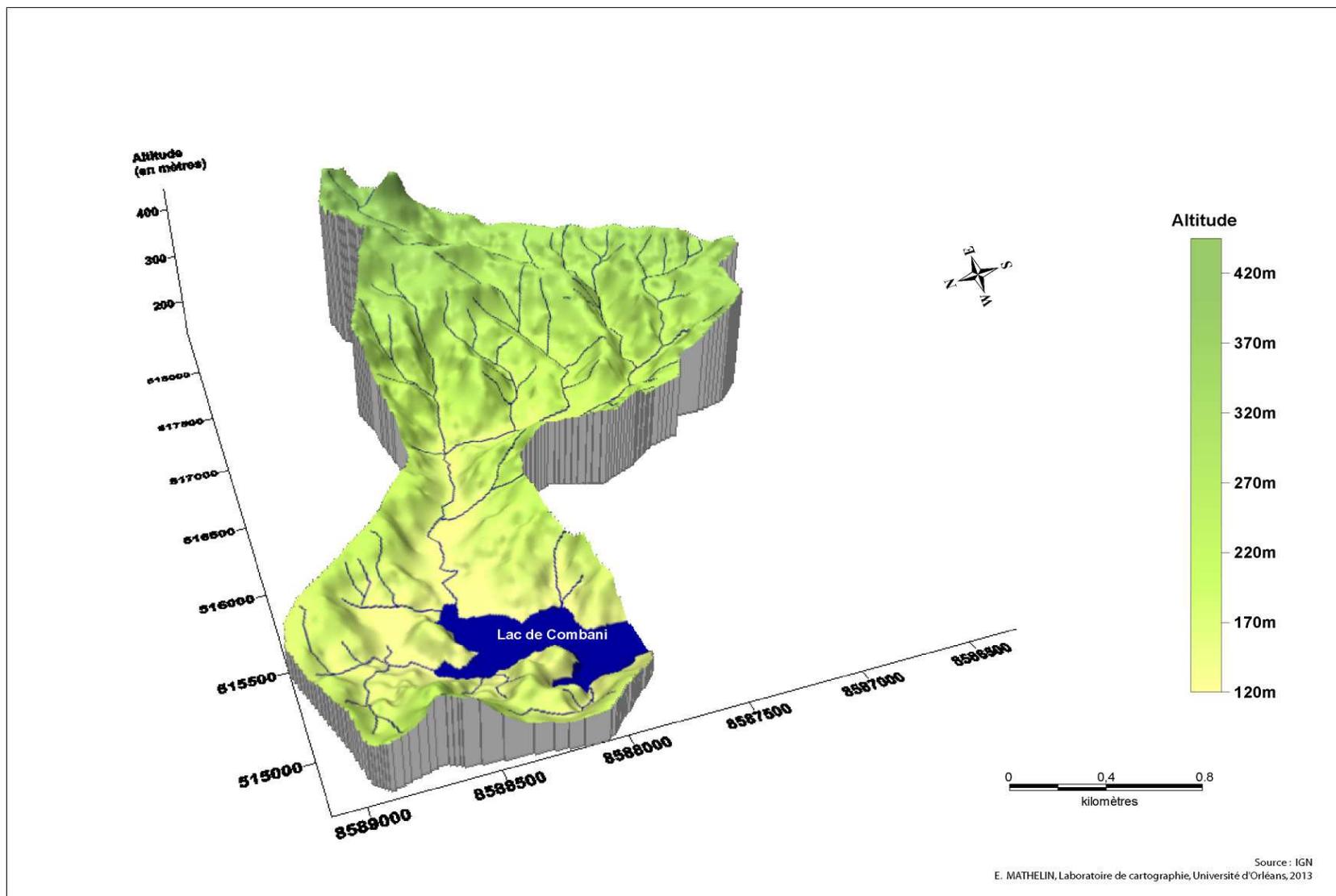
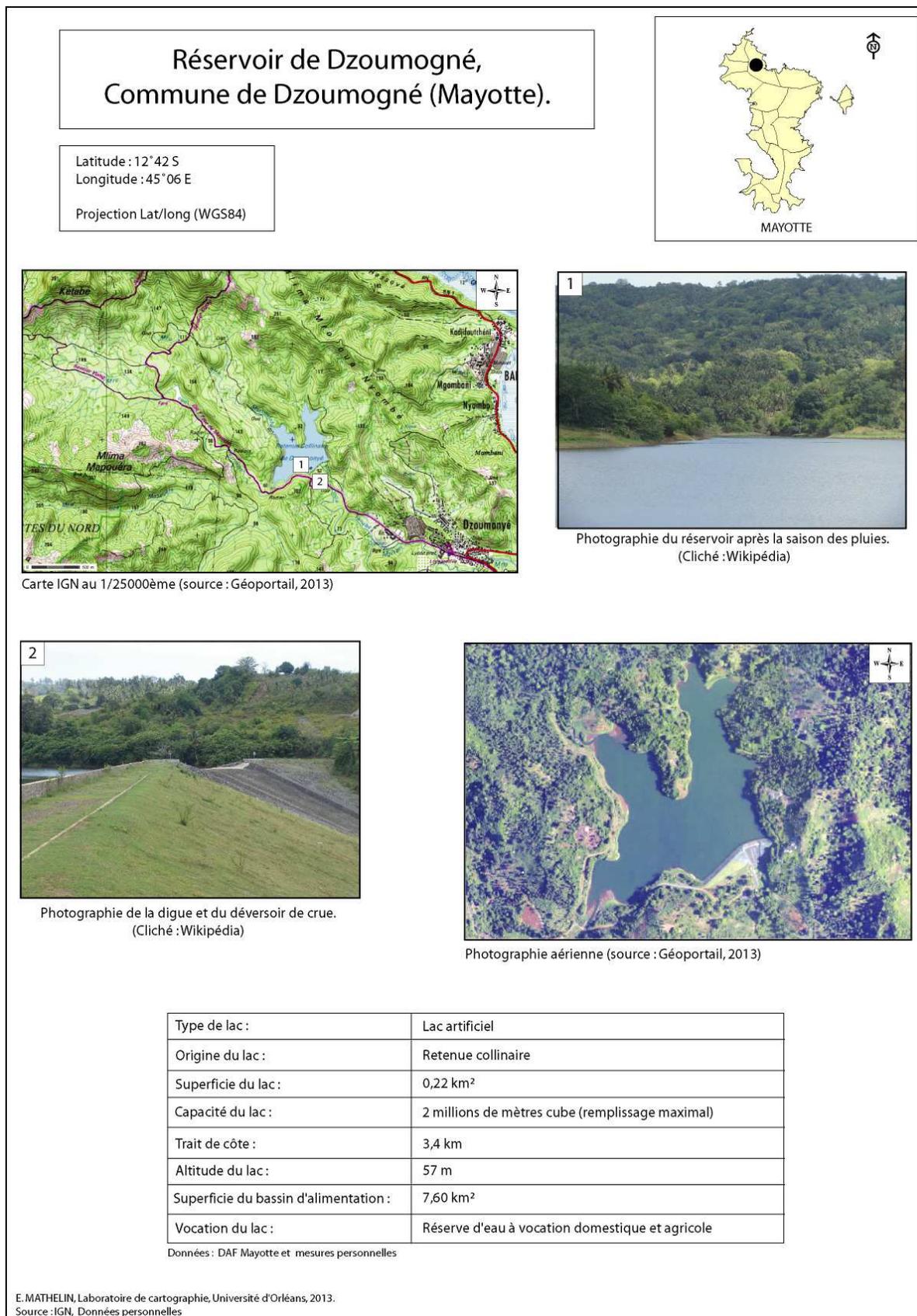


Figure 34 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation de Combani (Mayotte)



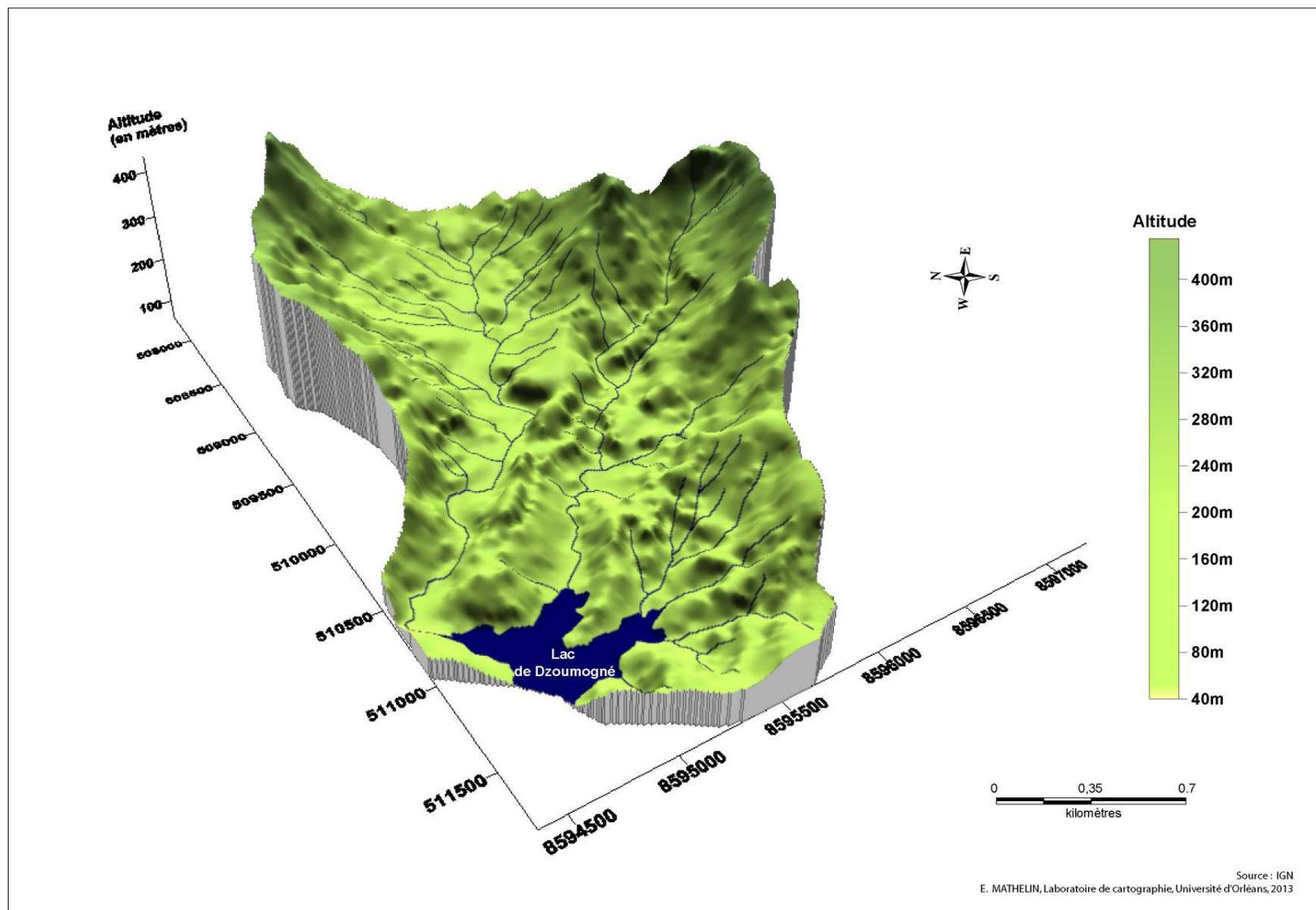


Figure 36 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation de Dzoumogné (Mayotte)

Ces deux réservoirs ont comme fonction première de servir de point de stockage en eau douce pour les besoins agricoles et domestiques. Leur localisation dans les parties les plus pluvieuses de l'île (1500-2000mm d'eau par an) répond à une logique de stress hydrique. En effet le développement des populations impose des capacités en eau grandissantes et continues. La construction de ces barrages a eu pour mission de répondre partiellement à cette problématique¹¹¹. Le développement d'activités pouvant engendrer des pollutions est donc de fait proscrit. Ces plans d'eau n'abritent officiellement aucun poisson mais un écosystème lacustre avec un phytoplancton s'y développe¹¹². Les formations végétales forestières se sont progressivement adaptées à la présence de plans d'eau artificiels, des écosystèmes lacustres se sont progressivement mis en place mais nous ne retrouvons pas d'écosystèmes endémiques lacustres comme cela est observable pour les lacs naturels. La mise en place d'une telle biodiversité prendra plusieurs dizaines d'années.

Au-delà de leur dimension de réservoir d'eau douce, ces deux lacs représentent un intérêt hydrologique dans le cadre de la compréhension des rythmes hydrologiques en milieu insulaire. En effet ces plans d'eau bénéficient de dispositifs de suivi de hauteurs d'eau en continu permettant d'analyser les cycles et les liens avec le bassin d'alimentation. La présence d'une digue avec déversoir de crue mais aussi les prélèvements en eau modifient cependant le cycle en aval. L'analyse des rythmes lacustres observés sur d'autres plans d'eau naturels sera intéressante à calquer avec les rythmes de ces réservoirs afin d'établir des plans de gestion limitant les pénuries en eau sur l'année. L'autre aspect essentiel de ces lacs réside dans le risque que ces derniers représentent. Situés en amont de villages éponymes, la rupture éventuelle de leur digue représente une problématique fondamentale¹¹³ et que les populations locales doivent intégrer comme toute population habitant en aval de retenues d'eau.

2.2.3.2. Le réservoir des Midlands à Maurice.

Le réservoir des Midlands se situe dans la partie centrale de l'île Maurice au nord-est de la Mare aux Vacoas. Ce réservoir a connu une création en plusieurs étapes. Les travaux ont commencé en 1926 mais furent stoppés en 1931 à cause d'un manque de moyens. Face à l'augmentation des besoins en eau, ce projet du début du XX^{ème} siècle¹¹⁴ fut alors repris en 1991 mais les travaux furent achevés en décembre 2002 sur la Grand River South East près du village des Midlands. Ce réservoir

¹¹¹ Comité de bassin de Mayotte, 2009, op cité, p61

¹¹² Leboulanger.C, 2008, op cité

¹¹³ BRGM, 2010

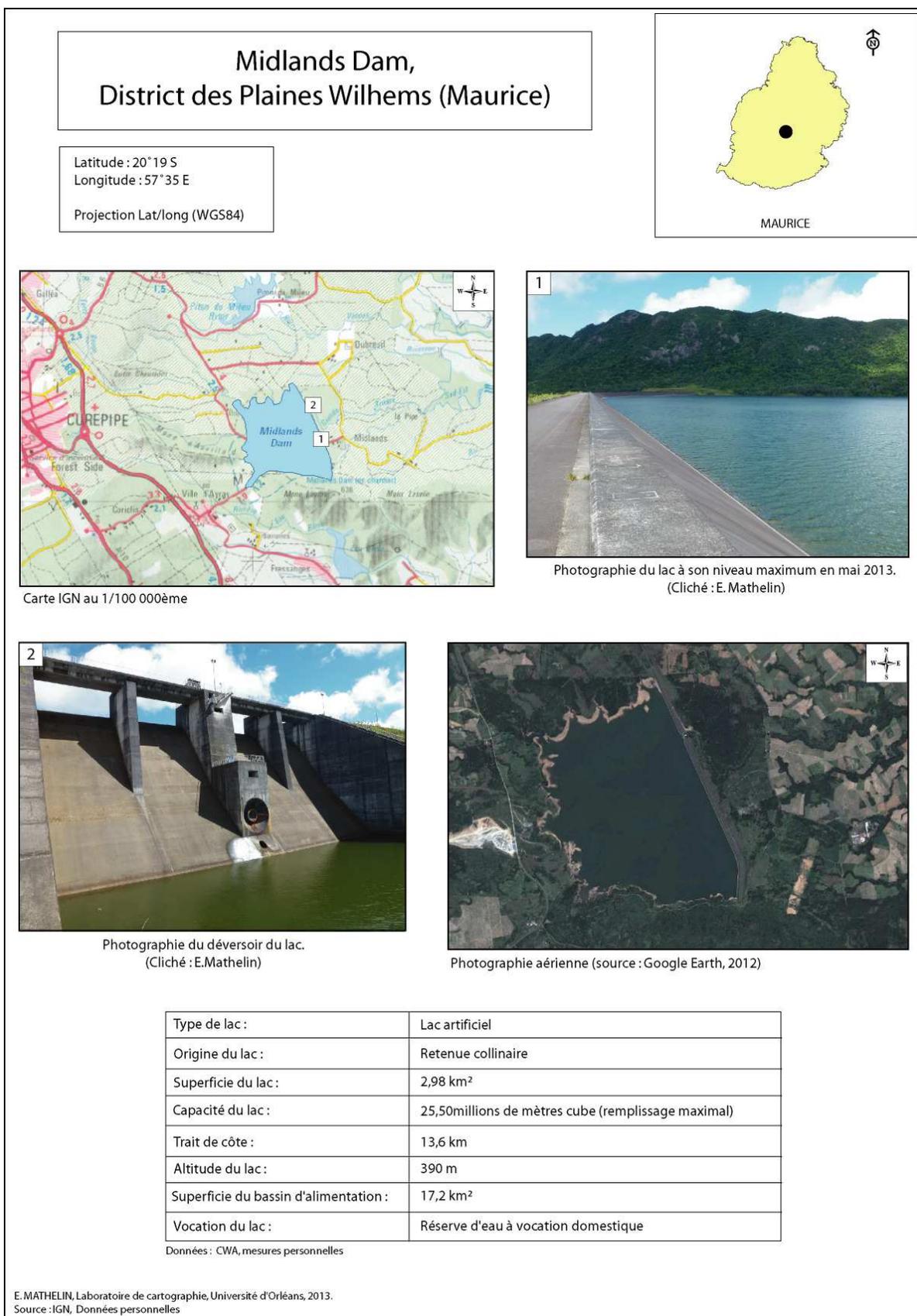
¹¹⁴ CWA, 2011

a une capacité actuelle de 25,5 millions de mètres cube sur une superficie de 298 hectares, ce qui en fait le 2ème plus important réservoir de l'île après la Mare aux Vacoas¹¹⁵.

Ce réservoir qui est le plus récent de l'île, possède un bassin d'alimentation de 17,2km², composé de champs (principalement de la canne à sucre) mais aussi de forêts sur lesquels s'abattent tous les ans pas moins de 4000mm d'eau. Le lac est constitué par une digue de 2,449km de long réalisée en enrochements et béton d'une hauteur de 19,5mètres. La partie centrale de la digue se compose d'un immense déversoir de surface ainsi que d'une bonde d'évacuation des eaux. En aval de la digue se retrouve la station de pompage des eaux qui permet par la suite l'interconnexion aux autres réseaux. Les eaux de ce réservoir sont vouées à l'irrigation et à l'usage domestique. Etant donné la vocation de ce plan d'eau, toute activité pouvant engendrer des pollutions (pêche, activité nautique...) est proscrite. Les environnements du lac font aussi l'objet d'une surveillance accrue pour éviter la dégradation de la masse d'eau et les pompages illicites.

Ce type de lac du fait de son âge et de ses fonctions ne possède pas d'écosystèmes remarquables. La présence de poissons est possible bien que nous n'ayons pu en observer directement. Les traces de campements de pêcheurs malgré les interdictions de pêche attestent d'une éventuelle population piscicole. Nous pouvons donc en déduire la présence de poissons venus par les affluents, soit introduite d'une manière illicite. Le principal enjeu de ces lacs ne réside bien sûr pas dans leurs écosystèmes mais plus dans la gestion de la ressource en eau et le contrôle du volume d'eau. En effet la maîtrise des cycles lacustres en particulier des phases de remplissage constitue un objectif essentiel pour mieux adapter les programmes de distribution et éviter les restrictions drastiques en période sécheresse comme cela fut le cas pour les années 2011-2012. La réflexion sur les réseaux de stockage et leur interconnexion constitue une problématique de développement et d'aménagement de l'île Maurice dans laquelle s'inscrit la création de nouveaux réservoirs comme celui des Midlands.

¹¹⁵ CWA, 2011



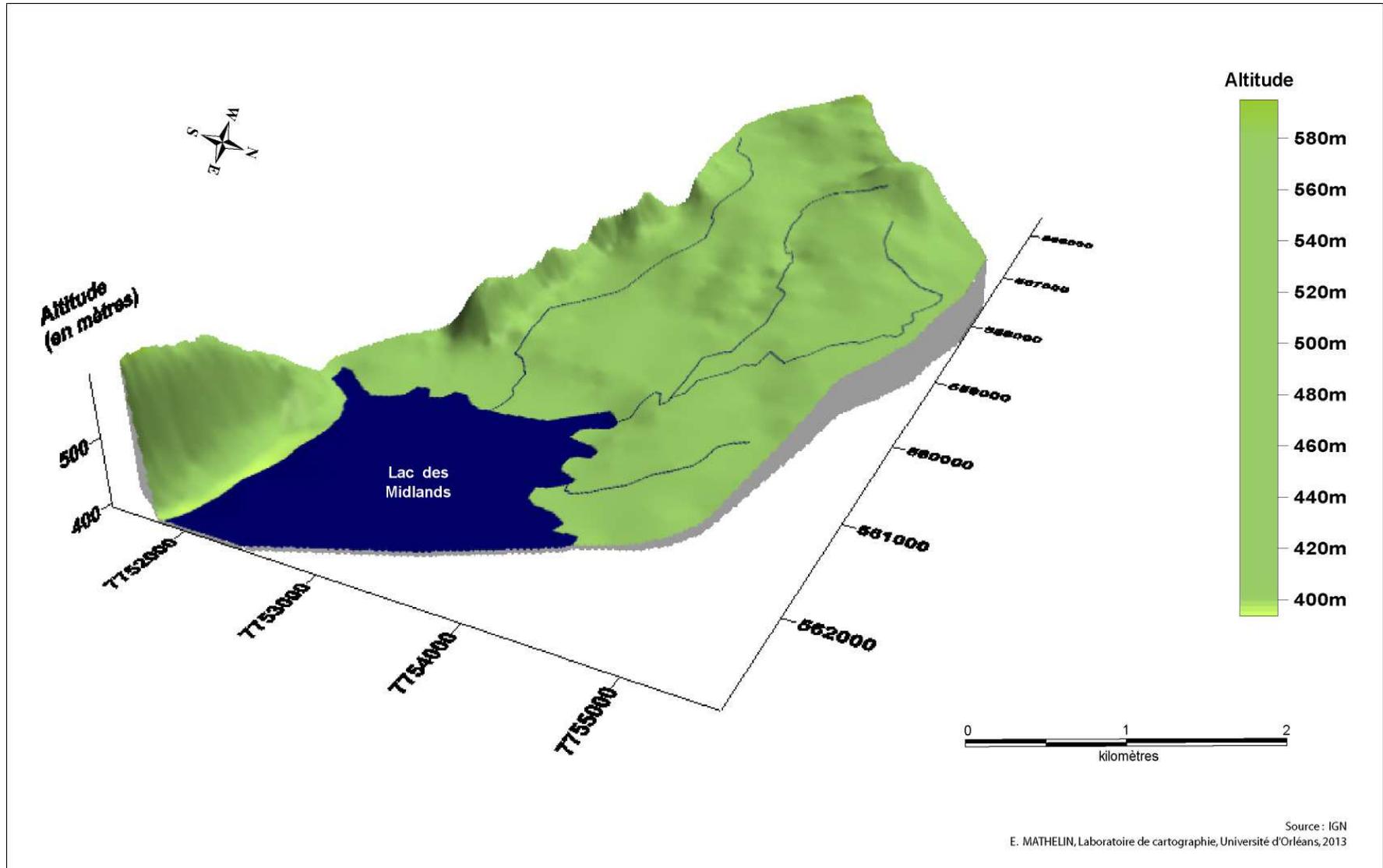


Figure 38 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation du réservoir des Midlands (Maurice)

2.2.4. Les lacs hybrides (origine naturelle ayant subi une anthropisation).

Les lacs hybrides constituent un particularisme intéressant. Ils se composent au départ d'une entité naturelle (lac ou dépression humide) à laquelle les Hommes ont surimposé des aménagements de type digue afin d'accroître le niveau du plan d'eau. Ce type de situation originale reste encore rare en milieu insulaire mais donne naissance à des structures de grande ampleur comme le lac-réservoir de la Mare aux Vacoas à Maurice qui constitue le plan d'eau le plus vaste de l'île et de la région. Ce type de lac est voué à se développer pour répondre aux besoins grandissants des populations en eau douce. En effet les nombreuses dépressions liées à la structure géologique des îles offrent des opportunités pour créer de tels aménagements.

La Mare aux Vacoas est située au centre de l'île Maurice, c'est le principal réservoir de l'île et la plus vaste étendue d'eau des espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien. Ce lac-réservoir d'une superficie de 560 hectares peut stocker plus de 25 millions de mètres cubes, ce qui en fait le principal réservoir de l'île¹¹⁶. Il doit son nom à un arbre endémique des Mascareignes, le vacoa, très présent dans cette partie de l'île. Le toponyme de « mare » doit certainement faire référence à l'aspect marécageux de la région lié à la présence d'un ancien lac de cratère en comblement. Situé dans les Plaines de Wilhems, près de Curepipe à une altitude de 569m, ce lac réservoir s'inscrit dans le cadre de ces plans d'eau insulaires intérieurs avec un bassin d'alimentation drainant 19,5km². Ce dernier reçoit en moyenne 3330mm d'eau par an, ce qui en fait la deuxième région la plus arrosée après les Midlands (5000mm). L'eau récoltée par ce réservoir-lac a pour fonction principale d'alimenter les milliers d'habitants des agglomérations du Plateau Central (Curepipe, Phoenix...).

La Mare au Vacoas peut être classée comme un lac hybride du fait de sa structure et de son histoire. Ce réservoir est le plus ancien de l'île et a connu de multiples évolutions pour aboutir à sa structure actuelle. Ce plan d'eau doit son origine à un lac de cratère en comblement. La construction d'une digue sur la rivière des Tamarins en 1885¹¹⁷ a permis d'envoyer l'ensemble de la zone marécageuse et de constituer un premier réservoir. Ce dernier a subi de multiples rehaussements (1892, 1915, 1922, 1928, 1961 et 1961) (**tableau.5**) avec la création de digues sur les différents exutoires de cette dépression et ainsi que la construction de canaux (Parc aux Cerfs Feeder Canal, Pradier Canal) pour capter l'eau d'autres bassins d'alimentation. L'ensemble de la structure de la Mare aux Vacoas a été entièrement réhabilité en 2000. Ce lac est donc délimité par quatre digues principales (Cogliano,

¹¹⁶ CWA, 2011

¹¹⁷ CWA, 2011

Tamarin, Mare à Soulier et 2^{ème} déversoir) dont les deux premières sont des digues constituées de terres et d'enrochements alors que les deux dernières, plus récentes, sont des ouvrages maçonnés accueillant chacune d'elle des déversoirs de surface. L'ensemble du lac, du fait de son importance stratégique en matière de ressource en eau, est entouré de fils barbelés pour limiter l'accès en dehors des zones prévues à cet effet. De nombreux panneaux rappellent les interdictions présentes sur cette zone. L'idée n'étant pas forcément de protéger les écosystèmes lacustres qui auraient pu se développer mais bien de protéger la masse d'eau des éventuelles pollutions et des captages et pompages sauvages. Ces plans d'eau abritent aussi divers poissons introduits par l'Homme comme les Tilapias du Nil, des anguilles et des crevettes mais les visites de terrain nous ont permis d'observer divers pêcheurs, certainement présents d'une manière illégale s'adonnant à cette activité malgré des panneaux d'interdiction bien visibles.

Tableau 5 : Evolution de la capacité du réservoir de la Mare aux Vacaos de 1885 à 2013

Source : CWA

Années	Capacité (Mm3)
1885	--
1892	2,58
1915	5,27
1922	15
1928	16,15
1961	27,63
1971	25,89
2013	25 ,89

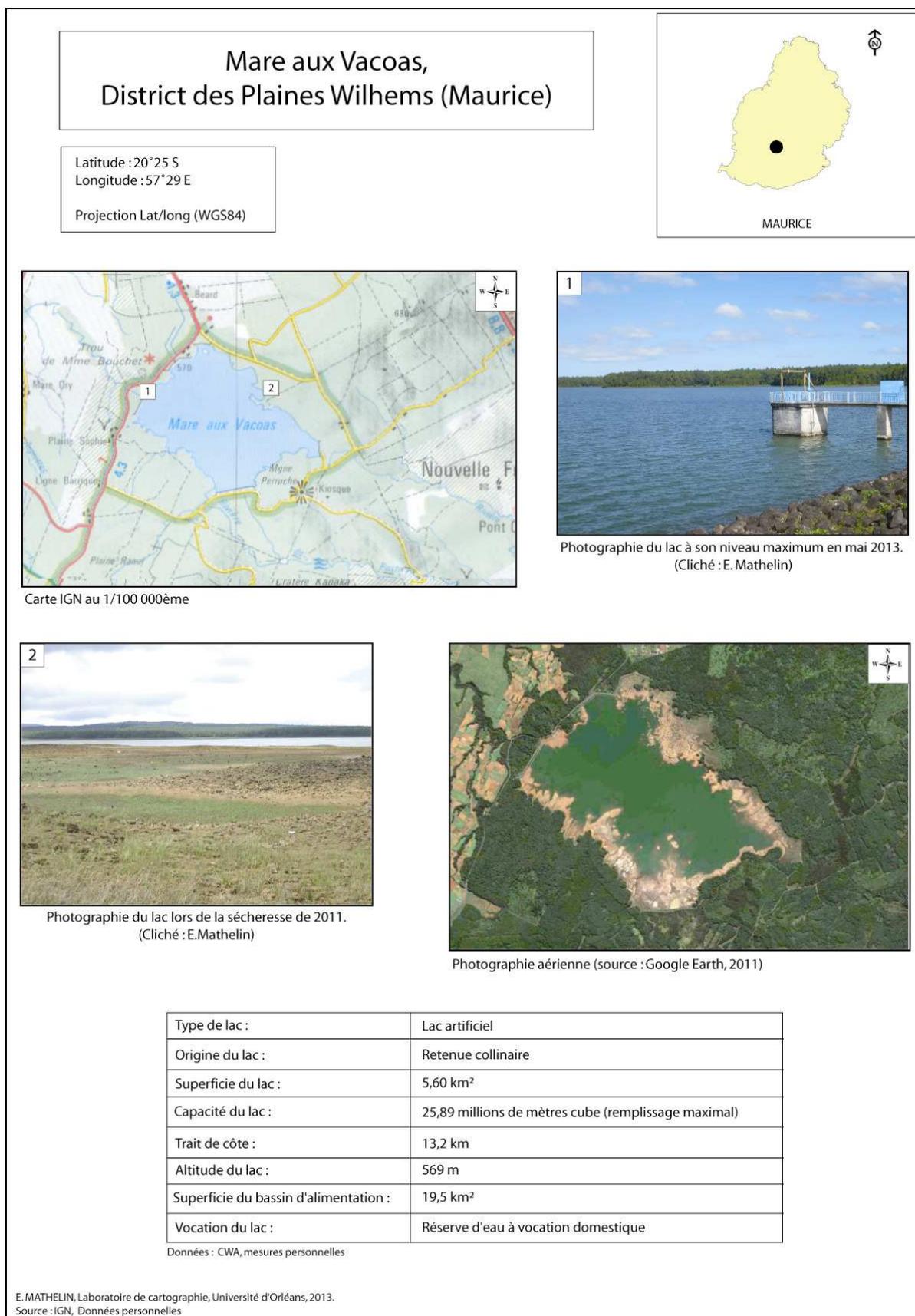


Figure 39 : Planche de présentation de la Mare aux Vacoas (Maurice)

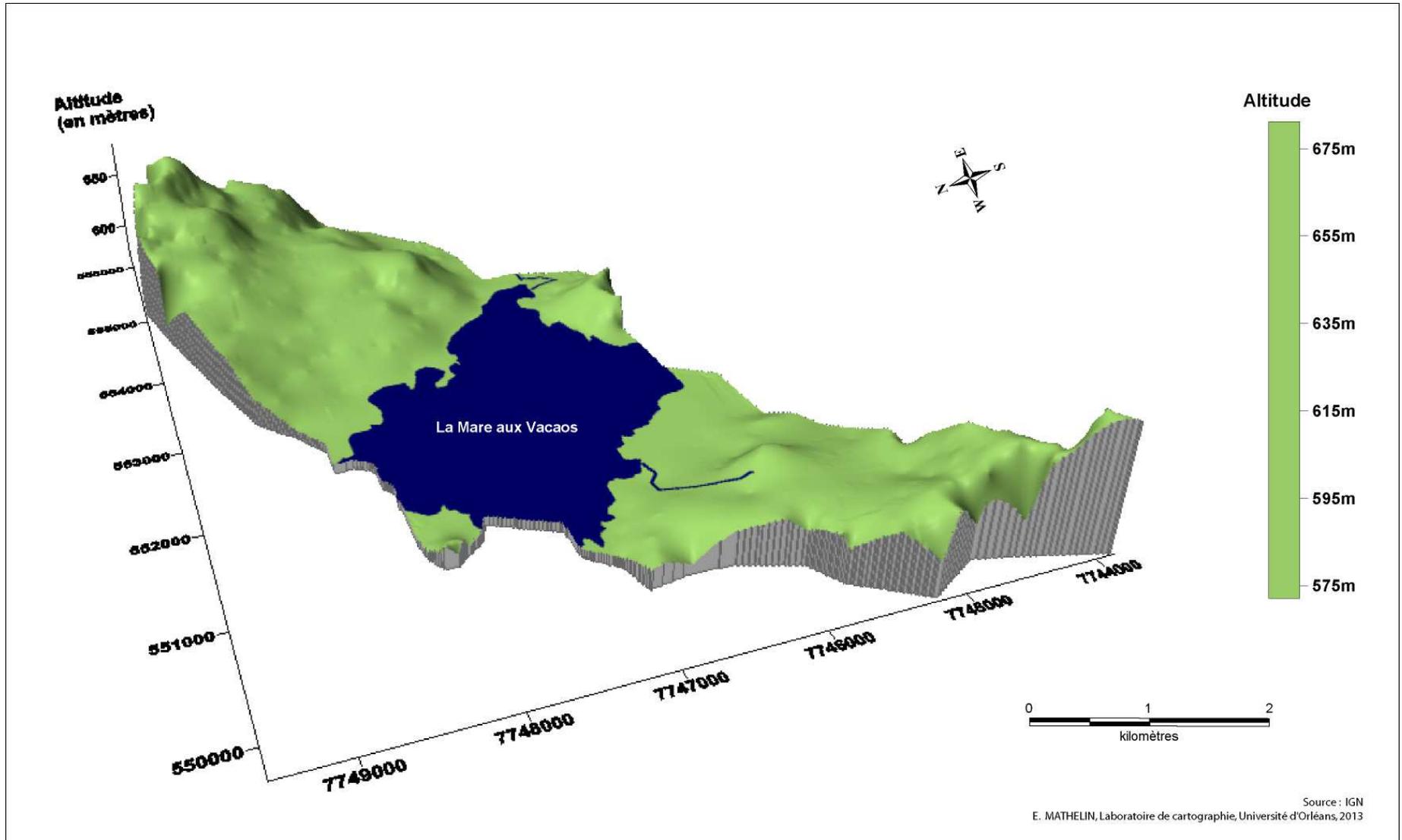


Figure 40 : Modèle numérique de terrain du réservoir de la Mare aux Vacoas (Maurice)

L'évolution de la structure de ce réservoir permet d'appréhender la problématique de la ressource en eau du territoire mauricien. En effet, on constate que la taille des réservoirs mauriciens et leurs aménagements ne cessent de s'agrandir au fur et à mesure que la population croît. On observe un passage progressif des réservoirs de petite taille (inf ou proche des 10Mm3) construit avant les années 1950 (La Nicollière, Mare Longue...) à des réservoirs plus importants (sup à 15Mm3) comme celui des Midlands en 2002, pour répondre à des besoins grandissants. Les projets de construction des futurs réservoirs comme le barrage de la Rivière des Anguilles s'inscrit dans cette logique. La consommation en eau de l'île Maurice progresse plus rapidement que la construction des réservoirs ce qui provoque une situation de stress hydrique comme le montrent les variations de niveau de la Mare aux Vacoas. Ainsi, l'île a été fortement touchée par une sécheresse sur les années 2011-2012, ne permettant pas aux réservoirs d'atteindre des seuils de remplissage satisfaisants. En septembre 2011, la Mare aux Vacoas n'était remplie qu'à 35%¹¹⁸ de sa capacité avec un niveau de remplissage inquiétant, imposant les autorités locales à prendre des mesures de restrictions drastiques. La récurrence de ces cotes basses d'alimentation des réservoirs en particulier la Mare aux Vacoas a imposé au gouvernement mauricien, en particulier la Central Water Authority (CWA) d'envisager des situations de repli pour favoriser le remplissage des réservoirs et limiter la dépendance envers la Mare aux Vacoas¹¹⁹. La mise en place de projets d'interconnexion des réservoirs, prélude à une interconnexion des réseaux de distribution s'inscrit dans cette réflexion. Les travaux ont été engagés dès 2011 mais le processus reste long avec la mise aux normes de structures vieillissantes. La Mare aux Vacoas est donc tout à fait représentative de la problématique hydrologique mauricienne. Sa structure complexe en fait un lac hybride dont l'intérêt scientifique est évident dans le cadre d'une recherche sur les lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.

Après avoir classifié puis présenté les différents lacs insulaires retenus dans le cadre de cette étude sur le sud-ouest de l'océan Indien, nous allons traiter des aspects méthodologiques employés afin de procéder à l'analyse des comportements lacustres.

¹¹⁸ source : CWA

¹¹⁹ Le Matinal, 18/01/2012

Chapitre 2.3. Méthodologie de l'analyse des lacs insulaires.

L'analyse des lacs insulaires tropicaux du sud-ouest de l'océan Indien se base sur l'observation sur huit plans d'eau principaux auxquels seront rajoutés pas moins d'une dizaine de masses d'eau complémentaires pour étayer les hypothèses de recherche. Ces diverses masses d'eau sont réparties sur les trois îles principales (Madagascar exclue) que sont La Réunion, Maurice et Mayotte. Un important travail de terrain, réparti sur la durée de l'étude et les divers terrains visités, nous a permis d'arpenter à pied pas moins de 6000km de sentier pour accéder aux masses d'eau les plus reculées et effectuer les mesures principales.

Les protocoles utilisés pour cette recherche se basent principalement sur des mesures morphologiques, hydrologiques et biologiques auxquelles s'ajoutent un travail de rencontre et de liaison avec des acteurs locaux (organismes publics, gestionnaires, usagers...) qui nous a permis de tisser un lien important et de constater certaines évolutions que des campagnes uniques n'auraient pu mettre en évidence.

Cependant la mise en place d'un protocole approfondi (cartographie détaillée en vue d'une analyse morphologique, suivi hydrologique, suivi biologique...) n'a pas été possible pour chaque plan d'eau. Des choix ont donc dû être effectués afin de déterminer les aspects les plus caractéristiques de chaque masse d'eau. Manquant de moyens techniques pour effectuer des mesures de niveau d'eau ou d'analyse de la qualité des eaux, nous avons pu bénéficier à titre gracieux des données des divers organismes gestionnaires et en charge du suivi de ces lacs (Office de l'Eau, Direction de l'Agriculture et des Forêts, BRGM, Météofrance, Ministry of land and housing , Central Water Authority...). Nous tenons à les remercier pour leur participation sans laquelle ce travail n'aurait pas été possible. Le croisement de ces diverses bases nous a permis d'établir un corpus de graphiques et de cartes nous permettant de mieux appréhender le fonctionnement de ces entités lacustres.

2.3.1. Méthodologie de l'analyse morphologique.

L'analyse des lacs insulaires nécessite tout d'abord d'appréhender leur processus de formation. Pour cela une étude morphologique des différents paysages insulaires a été indispensable afin d'en comprendre l'origine, les reliefs et les processus érosifs. Ce principe d'analyse morphologique a été ensuite transposé à l'étude des différents lacs observés lorsque nous disposions des données nécessaires.

2.3.1.1. Géolocalisation.

Etablir la cartographie d'un territoire nécessite de recourir à des outils de géolocalisation¹²⁰ pour déterminer les emplacements précis des divers objets et phénomènes observés et les replacer dans l'espace sur un support commun (**fig.41**). Pour réaliser de telles mesures, il a donc été nécessaire de recourir à l'utilisation de récepteurs GPS (Global Positioning System) pour relever les coordonnées géographiques (latitude, longitude) des objets. Les données ont été par la suite exploitées par l'intermédiaire d'un logiciel de type système d'information géographique (SIG).

La technique de géolocalisation est la plus adaptée au travail de terrain. Elle a pour rôle d'effectuer des relevés précis de coordonnées géographiques en l'absence de repères topographiques majeurs ou de mesures directes. La géolocalisation nous permet d'obtenir deux types de données :

Des données ponctuelles correspondent à un point précis fixe avec des coordonnées géographiques (latitude et longitude), auxquelles, il est possible d'ajouter des renseignements complémentaires (altitude, nom du lieu, heure...). Exemples de données ponctuelles : une station de mesure, un arbre mort, une embouchure...

Des données linéaires correspondent à un déplacement du récepteur GPS qui a pu enregistrer à un pas de temps défini une série de points avec des coordonnées géographiques (latitude et longitude). Cette série de points reliés entre eux permet d'obtenir un tracé auquel il est possible d'ajouter des renseignements complémentaires (distance, nom du sentier, altitude...). Exemple de données linéaires : un cours d'eau, un contour de lac, un sentier ...

Les récepteurs GPS utilisés pour ce travail de terrain sont des récepteurs de type Garmin Etrex Venture HC¹²¹ dont les boîtiers étanches permettent le travail sous des conditions difficiles. Les capacités de stockage du GPS avec une limite de 500 données ponctuelles (waypoints) et 10 données linéaires dont la capacité ne peut excéder 250 points de tracés (tracks), sont réduites par rapport aux nouveaux appareils apparaissant sur le marché. Cette contrainte de capacité nous a obligé à segmenter certaines portions de mesure lors de sorties de terrain assez longues. Bien qu'étant au cœur de l'océan Indien, les récepteurs GPS fonctionnent parfaitement mais il s'avère indispensable de configurer le système géodésique (WGS 84) pour que les données collectées sur le terrain soient conformes avec les projections proposées par les logiciels de SIG.

¹²⁰ Denegre J., Salgé F., 2004, 128p

¹²¹ Matériel acquis à titre personnel

Dans le cadre de sorties de terrain, l'utilisation de la technologie GPS¹²² nécessite certaines précautions vis à vis de son lancement. En effet les modèles de récepteurs GPS possèdent un temps nécessaire d'acquisition du signal (au moins réception de quatre signaux satellites) afin de pouvoir trianguler correctement la situation. Ce temps, variable selon les conditions climatiques et la dernière position du récepteur, peut osciller d'une à plusieurs minutes. Le récepteur ayant obtenu l'ensemble des signaux nécessaires à son fonctionnement permet d'effectuer des mesures dont la précision varie de 1 à 3m et 10m lorsque les signaux de réception sont discontinus. Durant les phases d'utilisation, il convient de mentionner les contraintes techniques de l'appareil, c'est à dire des pertes de signal plus ou moins fréquentes selon la configuration des sites. Dans les espaces insulaires visités, nous avons pu constater ces problèmes lors de traversées de zones particulièrement encaissées (pied de rempart), lors d'épisodes de forte nébulosité (brouillard intense) ou en pleine forêt tropicale (sous une canopée dense). La qualité de réception du signal GPS est donc conditionnée par ces trois facteurs majeurs : relief, nébulosité et couvert végétal qui peuvent altérer les mesures. Le suivi du signal de réception et la connaissance du terrain permettent de rectifier ces erreurs quelquefois assez importantes. Il existe sur le marché des GPS, des récepteurs de type GPS différentiel¹²³ qui permettent par l'intermédiaire d'une station de référence terrestre proche de corriger les écarts de mesure. La précision de ces modèles à usage professionnel permet d'obtenir une précision décimétrique. Cependant de tels appareils n'ont pas été utilisés dans le cadre de ce travail de recherche pour des raisons financières et d'autant qu'ils ne sont pas toujours adaptées à l'échelle des mesures effectuées qui ne nécessite pas une précision centimétrique comme le proposent de tels appareils.

¹²² Correira.P, 2006, p47-50

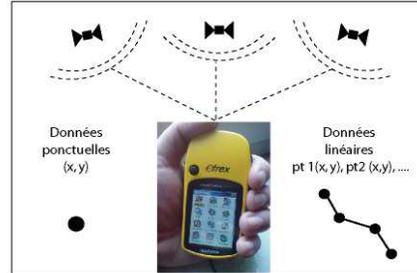
¹²³ Correira.P, 2006 , p81-89

Du travail de terrain à la carte numérique.

Etape 1 : Acquisition de données.



- => Visites de terrain.
- => Repérage des zones à cartographier.
- => Vérification de l'accessibilité des zones.

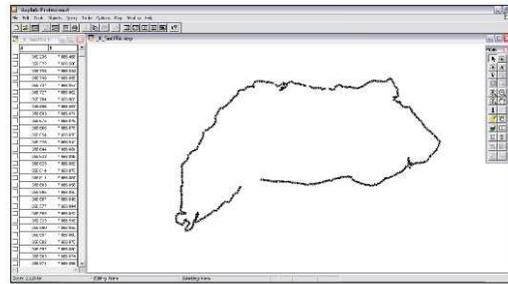


- => Utilisation du GPS.
- => Acquisition de la position des satellites.
- => Enregistrement de données :
 - ponctuelles (waypoints)
 - linéaires (tracks)

Etape 2 : Archivage et analyse des données.

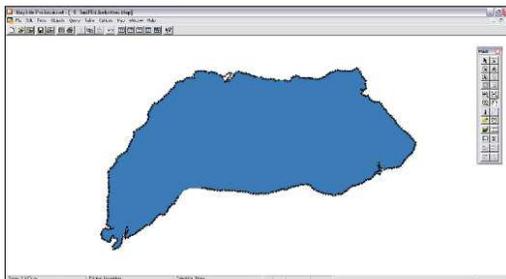


- => Extraction des données du GPS.
- => Formatage des données (format tableur).
- => Stockage des données.

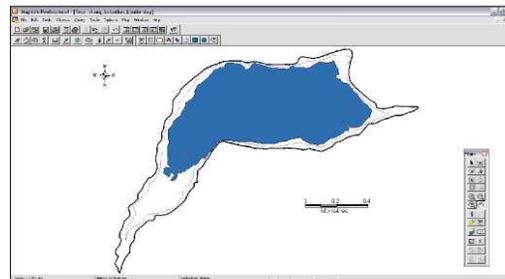


- => Importation des données dans un SIG.
- => Intégration des données aux bases existantes (conformité des systèmes de projection).
- => Création de points.

Etape 3 : Affichage des données.



- => Traitement des données brutes (retrait des erreurs de mesure).
- => Travail graphique des données à partir de données brutes (traçage de points, lignes et polygones).
- => Enregistrement des bases créées.



- => Superposition des bases de données.
- => Mise en forme des données (échelles, titre, orientation...).
- => Exportation des cartes obtenues en vue de publications.

Figure 41 : Méthodologie du travail de géolocalisation

Une fois les données de terrain collectées, l'extraction s'effectue par l'intermédiaire du logiciel Mapsource de Garmin qui vont ensuite être exportées vers un tableur de type Excel afin d'être intégrées à un SIG. Leur conversion permet de rectifier les erreurs de mesure et retirer les données qui ne seront pas exploitées par le logiciel de cartographie. Le logiciel de SIG retenu est Mapinfo 9.0, prêté gracieusement par l'Académie de La Réunion, va permettre de positionner et d'afficher les différents objets au sein d'un même espace et de les croiser avec les supports cartographiques et les données existantes. Les différentes bases de données collectées sur le terrain mais aussi auprès des administrations vont être gérées et analysées grâce au SGBD (système de gestion de base de données) intégrées au logiciel. La visualisation de cette analyse va s'effectuer sur un support cartographique modifiable à l'aide de l'outil de DAO (dessin assisté par ordinateur) composant le second volet du logiciel. De la visualisation va découler la mise en évidence du phénomène. La création de bases de données SIG nécessite un ensemble de réflexions menées depuis l'observation de terrain jusqu'à la visualisation. L'utilisation des techniques de géolocalisation et leur exploitation cartographique ne doivent pas être une fin en soi mais un outil au service d'un raisonnement géographique.

2.3.1.2. Les SIG et les modèles numériques de terrain (MNT).

Les SIG (systèmes d'information géographique) sont des logiciels qui couplent des applications de dessin ou de cartographie assistée par ordinateur (DAO ou CAO) avec des logiciels de gestion de bases de données (SGBD). Le croisement des données graphiques et alphanumériques au sein d'un même repère normé permet ainsi l'apparition de phénomènes géographiques, telle est la logique d'un SIG¹²⁴. Les SIG classiques proposent de travailler dans des repères en 2 dimensions (x,y : correspondant respectivement à la latitude et la longitude). L'apparition des modèles numériques de terrain (MNT) permet d'apporter une dimension supplémentaire à la représentation graphique (x,y,z : correspondant respectivement à la latitude, la longitude et l'altitude) Ces MNT permettent donc la réalisation de modélisations tridimensionnelles de paysages. Ils permettent ainsi d'observer les reliefs d'une manière plus explicite qu'à partir d'une simple carte à deux dimensions¹²⁵ (**fig.39**).

La réalisation d'un MNT croise l'utilisation d'un logiciel de SIG (Mapinfo9.0) et d'un logiciel de modélisation (Surfer 8.0). Le logiciel de SIG va permettre de délimiter les contours du

¹²⁴ Minvielle.E, Souiah.A-A, 2003, p189-195

¹²⁵ Carlini.M, 2006, p109-113

polygone à modéliser dans un repère spatial. Au sein de ce polygone défini, les données altitudinales sont intégrées en tant que couche topographique, elles sont converties de données linéaires en données ponctuelles. L'ensemble forme alors une base x,y,z (latitude, longitude, altitude) qui est exportée vers le logiciel de modélisation Surfer ainsi que les coordonnées (x,y) du polygone. Le principe de la modélisation consiste à une interpolation des points importés au sein du polygone de référence. Les modes d'interpolation sont nombreux mais nous privilégierons la technique du « krigeage » car elle adoucit les formes paysagères, ce qui correspond plus à la réalité que les autres modes d'interpolation dont les tracés sont plus anguleux¹²⁶. Une fois l'interpolation réalisée, nous obtenons une grille de points dont le maillage va définir la précision du modèle. Cette grille va servir de base pour générer le modèle numérique de terrain. A l'état brut, le MNT correspond à une grille en relief, mais le logiciel de modélisation permet d'appliquer différentes couleurs et textures permettant un habillage de l'objet modélisé (système d'Overlay). L'importation de couches SIG s'avère intéressante pour offrir un autre type de regard sur un phénomène géographique déjà observé en deux dimensions. Des modules complémentaires nous permettent d'effectuer les calculs de pente ou de rayonnement à partir de la modélisation. Enfin la réalisation de segments de l'objet modélisé nous permet de construire aisément des coupes topographiques.

Dans le cadre de notre travail, les modèles numériques de terrain ont été utilisés avant tout pour analyser la topographie des espaces insulaires afin de mieux les comparer pour en appréhender les différences et les points communs sur le plan topographique. Le travail à l'échelle insulaire comme pour la construction du modèle numérique de La Réunion ou de Maurice a nécessité le recours à des bases de données institutionnelles beaucoup plus précises que celles que nous aurions pu constituer nous même. En effet les pas de mesure des bases institutionnelles sont de l'ordre du décimètre, ce qui permet un regard assez fin pour des reliefs aussi importants. Ainsi les bases de données permettant la réalisation du MNT de La Réunion ont été gracieusement prêtées par les services rectoraux (BD alti 25m), tandis que les bases de données pour le MNT de l'île Maurice, l'ont été par le ministère Housing and Lands. Pour la réalisation du MNT de l'île de Mayotte, nous n'avons pu avoir recours à de telles bases, nous avons donc dû nous contenter de la BD alti 250m en libre d'accès¹²⁷ et de la carte IGN au 1/25000ème. La réalisation du MNT des bassins d'alimentation Combani et de Dzoumogné ont nécessité pas moins 3354 et 4602 relevés topographiques et altitudinaux pour la réalisation d'une telle figure. A partir des MNT réalisés à l'échelle insulaire, nous avons pu travailler plus spécifiquement sur les bassins d'alimentation des lacs. En effet la

¹²⁶ Carlini.M, 2006, op cité

¹²⁷ Téléchargeable sur le site de l'IGN, <http://www.ign.fr/>

compréhension des configurations de ces bassins (pente, couvert végétal, réseau hydrographique...) va nous permettre de mieux assimiler certains comportements lacustres et de réfléchir aux valorisations possibles mais aussi à certains risques inhérents à ces masses d'eau.

2.3.1.3. L'application des MNT à la modélisation des cuvettes lacustres.

L'étude des lacs ne peut s'envisager dans sa globalité sans une connaissance des cuvettes lacustres souvent cachées par les masses d'eau. L'exploration et la connaissance des cuvettes lacustres s'avère donc une des questions les plus fascinantes de la limnologie. Ayant souvent fait l'objet de mystères ou de légendes, ces cuvettes sombres continuent d'aiguiser la curiosité des scientifiques. Dans le cadre de lac d'origine anthropique, le mystère est levé d'une manière régulière lors des épisodes de vidange. Pour les lacs naturels en revanche, dont l'âge se compte en milliers d'années, les questions restent entières. Seule la mise en place de cartes bathymétriques permettent une connaissance précise de ces fonds si anciens. La bathymétrie d'une cuvette lacustre permet d'en découvrir les principales formes et de comprendre ainsi certains processus sédimentaires¹²⁸ (**fig.42**).

La réalisation de la bathymétrie d'un plan d'eau nécessite le recours à des outils divers selon la taille et le nombre de mesures à effectuer. Dans le cadre de petits plans d'eau peu profonds (inf à 5m), l'utilisation d'un récepteur GPS couplé à une perche graduée permet d'obtenir des mesures précises. Cependant cette technique de mesure assez fine nécessite beaucoup de temps car la collecte des points de mesure est très longue¹²⁹. Autre inconvénient, l'enfoncement de la perche en milieu vaseux peut altérer les mesures. Dans le cadre de plans d'eau plus vastes (plusieurs dizaines d'hectares), il est indispensable de recourir à des méthodes de mesure de la profondeur plus automatisées. Ainsi l'utilisation de la technique de l'échosondeur permet d'accroître les surfaces couvertes et de mesurer des profondeurs plus importantes. L'échosondeur, couplé à un récepteur GPS, enregistre les données de déplacement ainsi que les profondeurs par l'intermédiaire d'un signal radar¹³⁰. L'inconvénient majeur de cette technique demeure la précision relative des mesures pour l'observation de certains micros reliefs lacustres. Cependant de telles mesures s'avèrent suffisantes pour une connaissance satisfaisante des grands ensembles morphologiques et du volume de la cuvette. Autre technique de mesure utilisable pour les lacs anthropiques ou connaissant des périodes d'assec, la constitution d'isobathes en fonction des variations de niveau. Ainsi à partir

¹²⁸ Carlini, 2006, p113-118

¹²⁹ Carlini, 2006, p85-87

¹³⁰ Carlini.M, 2006, p84-85

d'une période d'assec, le plan d'eau connaît une phase de remplissage, il est donc possible de reconstituer les isobathes du plan d'eau en effectuant le tour au fur et à mesure de la remontée. Ces isobathes sont couplées avec une échelle limnimétrique pour déterminer le niveau d'eau. Ces techniques, certes lentes et fastidieuses permettent de répondre à des problèmes méthodologiques pour les plans d'eau non navigables ou difficiles d'accès. Ce processus de mesure a été utilisé dans le cadre de la bathymétrie du Grand Etang de La Réunion¹³¹.

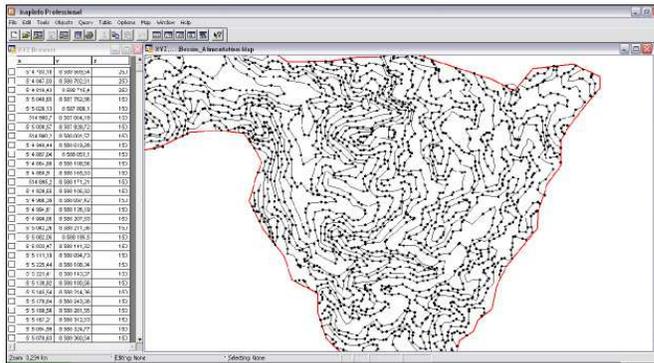
Ces relevés de profondeur permettent d'aboutir à une cartographie bidimensionnelle du lac. Tout comme les reliefs de surface, les reliefs lacustres peuvent être modélisés dans le cadre d'un modèle numérique de terrain. Le principe de modélisation est le même, après avoir importé les mesures de terrain dans un SIG, on obtient une base x,y,z (latitude, longitude et profondeur) que l'on exporte ainsi que les contours du lac dans le logiciel de modélisation Surfer¹³². L'interpolation permet d'obtenir une grille qui va être générée par la suite en MNT. Un tel support nous permet de visualiser la structure de la cuvette lacustre mais aussi d'en retirer de précieuse information à savoir les volumes mais aussi les pentes. La mise en place de plusieurs campagnes bathymétriques étalées sur plusieurs années nous apporterait aussi la possibilité d'observer l'évolution du lac et sa vitesse de comblement.

Dans le cadre de notre travail de recherche, le manque de moyens matériels et les nombreuses interdictions de naviguer nous ont imposé de limiter le nombre de bathymétrie. Le principal travail bathymétrique effectué sur un lac naturel concerne le Grand Etang de Saint Benoît à La Réunion où le marnage annuel important offre des périodes d'assec. La phase de remplissage nous a donc permis de reconstituer les isobathes du lac à partir des niveaux d'eau de l'échelle limnimétrique. Les autres travaux bathymétriques ont été effectués sur des plans d'eau artificiels dont nous disposons des cartes topographiques avant la mise en eau comme pour les retenues collinaires de Mayotte de Combani et Dzoumogné. De même certains réservoirs récents de l'île Maurice comme celui de Midlands, achevé en 2002 nous permettent de nous baser sur les données topographiques. Cependant pour la construction de tels réservoirs, les gestionnaires ont eu quelquefois recours à d'importants travaux de terrassement, modifiant sensiblement la topographie. De plus, les couches de sédiments accumulées (souvent peu importantes pour les plans d'eau les plus jeunes), peuvent aussi modifier la topographie lacustre. Il est donc nécessaire d'être vigilant sur les travaux bathymétriques réalisés à partir des bases topographiques antérieures à la mise en eau et d'avoir une vision critique des résultats obtenus.

¹³¹ Mathelin.E, 2007, op cité

¹³² Logiciel prêté à titre gracieux par l'université de Limoges

Etape 1 : Création d'une base de données altimétriques dans un SIG.



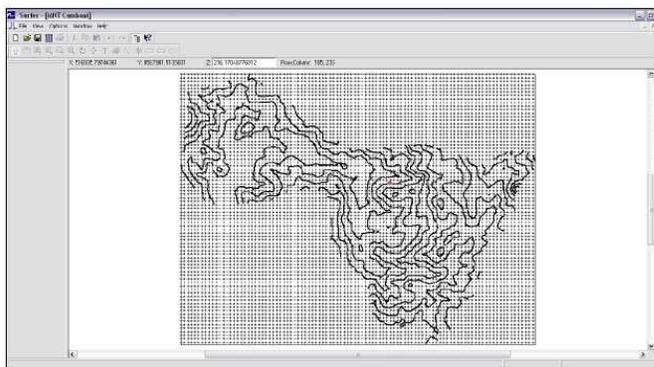
=> Vectorisation des données altimétriques au sein d'un système d'information géographique (SIG).

=> Conversion des données linéaires en données ponctuelles pour générer une base x,y,z (x pour la latitude, u pour la longitude et z pour l'altitude).

=> Export de la base x,y,z du SIG vers un logiciel de modélisation (type Surfer...).

Conversion des données altimétriques dans un SIG

Etape 2 : Interpolation des données altimétriques dans un logiciel de modélisation.



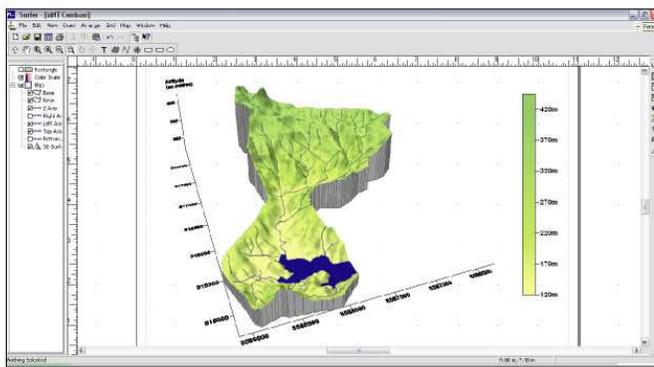
=> Création d'une grille de données à partir de la base x,y,z.

=> Interpolation de type "Kriging" des données altimétriques au sein de la grille de données.

=> Création d'un cache "Blank" pour délimiter la zone de modélisation.

Création d'un grille de données dans un logiciel de modélisation

Etape 3 : Génération du modèle numérique de terrain (MNT).



=> Choix d'un modèle de représentation (contour map, wireframe map, 3D volume map...).

=> Superposition par "Overlays" de données ponctuelles et vectorielles à partir d'un SIG.

=> Mise en forme du modèle (couleurs de la légende, échelle, orientation, exposition...).

Mise en forme d'un MNT

E. MATHELIN, Laboratoire de cartographie, Université d'Orléans, 2013.

Figure 42 : Méthodologie de la construction des MNT

2.3.2 Méthodologie de l'analyse hydrologique.

Les données hydrologiques correspondent à l'ensemble des données liées à l'eau de surface mais aussi souterraine. Ces données nous permettent d'appréhender le cycle de l'eau dans un espace insulaire et plus spécifiquement pour les lacs.

2.3.2.1. Données pluviométriques.

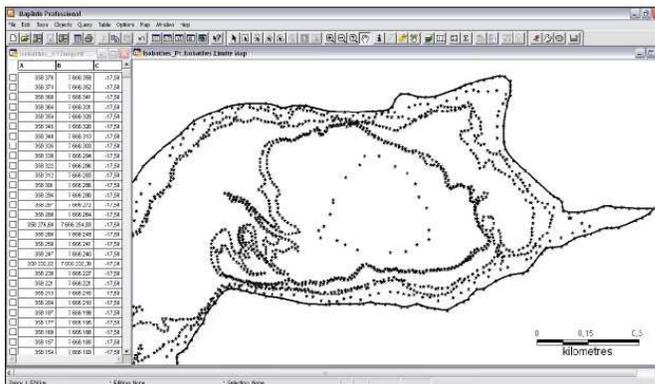
Les données pluviométriques sont indispensables à toute analyse hydrologique, elles permettent de connaître la nature et les volumes d'eau entrant dans la zone d'étude. Ces précipitations peuvent se produire diverses formes : liquides ou solides (neige, grêle) mais ces dernières ne concernent qu'exceptionnellement la zone tropicale (à La Réunion en Août 2003). Dans le cadre de notre étude, nous nous intéresserons principalement aux précipitations mais aussi aux différentes composantes climatiques (températures, humidité, vent...) qui peuvent influencer les écosystèmes lacustres.

Ne possédant pas les moyens nécessaires pour effectuer régulièrement des relevés pluviométriques en différents points de l'île, nous avons donc sollicité Météofrance et la DAAF de Mayotte qui a permis d'accéder à titre gracieux¹³³ aux nombreuses bases de données La Réunion et Mayotte¹³⁴. Il nous a été possible de choisir les différentes stations correspondantes à notre recherche au sein du vaste réseau de surveillance, ainsi que la durée et les types de mesure. Cette immense base de données mise à disposition par Météofrance et la DAAF nous permet d'établir des profils climatiques des différents bassins d'alimentation observés. Par exemple, la base de données climatiques concernant le bassin d'alimentation de l'Etang Saint Paul regroupe pas moins 17207 données climatiques réparties sur quatre stations sur une durée de 14 ans. Pour le bassin d'alimentation de Combani, 4745 données climatiques réparties sur 13 ans ont été analysées. Pour l'île Maurice, les données climatiques furent plus délicates à obtenir et nous avons dû nous contenter des données associées à l'étude des plans d'eau effectuées par la CWA.

¹³³ Cette collaboration a été aussi facilitée par la mise en place d'un partenariat pédagogique entre le Rectorat et Météofrance. Une partie des données de ce travail ont été empruntée à ce partenariat, avec l'accord du Rectorat de La Réunion.

¹³⁴ A noter que dans le cadre de Mayotte, les données pluviométriques ont été couplées avec celles de la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Forêts (DAAF) qui possède aussi un réseau de station météorologiques.

Etape 1 : Réalisation et saisie des mesures bathymétriques de la cuvette lacustre.



=> Géolocalisation du pourtour de la cuvette lacustre.

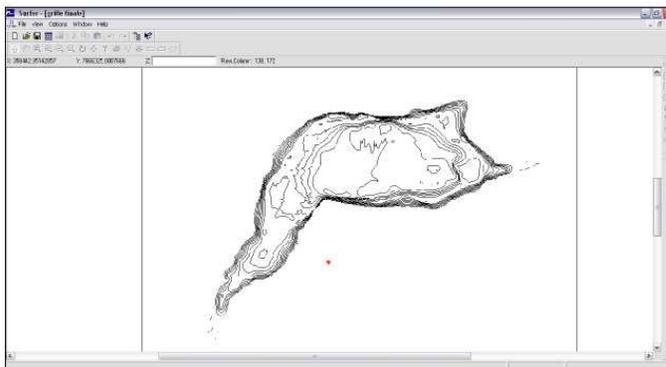
=> Réalisation sur le terrain de mesures bathymétriques :

- mesure à la "perche" pour les masses d'eau stables.
- mesure par isobathes pour les masses d'eau à fort marnage.

=> Intégration des données dans un SIG.

Géolocalisation des mesures bathymétriques

Etape 2 : Interpolation des données bathymétriques dans un logiciel de modélisation.



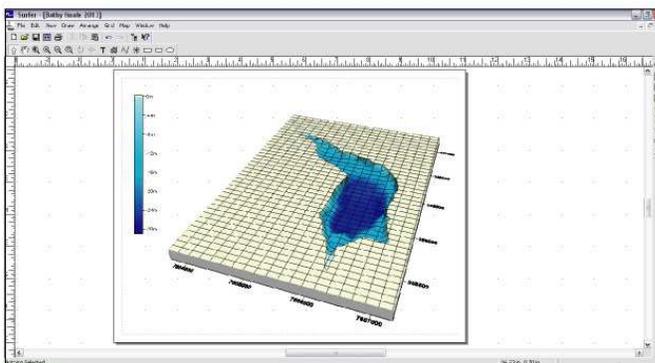
=> Création d'une grille de données à partir des données géoréférencées de terrain.

=> Interpolation de type "Kriging" des données bathymétriques.

=> Création d'un cache "Blank" pour délimiter la zone de modélisation.

Interpolation des données bathymétriques

Etape 3 : Génération du modèle numérique de la cuvette lacustre.



=> Choix d'un modèle de représentation (contour map, wireframe map, 3D volume map...).

=> Superposition par "Overlays" des modèles de représentation.

=> Mise en forme du modèle (couleurs de la légende, échelle, orientation, exposition...).

Modélisation de la cuvette lacustre

Figure 43 : Méthodologie de la modélisation des cuvettes lacustres

Les mesures climatiques utilisées ont été effectuées par l'intermédiaire de stations météorologiques disposées sur des sites spécifiques. Elles se composent de divers instruments de mesures (pluviomètre, anémomètre, thermomètre, hygromètre...) lesquels sont associés à des capteurs et des enregistreurs chargés de les stocker et même pour certains de les transmettre en temps réel au centre de gestion. Selon l'importance de la station et son niveau d'équipement, les relevés sont ponctuels ou continus à l'aide de dispositifs d'enregistrement. Ces derniers conduisent à appréhender à différents pas de temps les phénomènes pluviométriques et de mettre en avant des épisodes rapides qui n'apparaîtraient pas avec des relevés mensuels voire annuels. La mise en place d'un tel réseau et les normes répondent à des recommandations émises par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) afin que les différentes mesures puissent être standardisées à l'échelle mondiale. Pour les territoires français, l'organisme en charge de l'observation du climat, Météofrance, possède un réseau particulièrement dense sur le territoire métropolitain mais beaucoup plus dispersé sur les territoires d'outre-mer du fait de la création assez récente de stations. A La Réunion, les stations les plus anciennes, gérées par MétéoFrance, remontent aux années 1950 avec la création de la station d'Hell Bourg, le 1 novembre 1950, par la suite, le réseau va se densifier progressivement. La Réunion possède donc pas moins de 101 stations¹³⁵, tandis que Mayotte dont les équipements se mettent progressivement en place ne possède que 35 stations. A comparer, le réseau de surveillance météorologique de Maurice¹³⁶ est plus dense car 250 stations sont réparties sur l'ensemble de l'île avec 30 stations d'enregistrement continu des précipitations et de l'insolation (photo.10).



Photographie 10 : Station météorologique de la Mare aux Vacoas (Maurice)

Cliché Mathelin, 2011

¹³⁵ Météofrance Réunion, 2006, p4

¹³⁶ Données issues de la CWA

L'analyse des données climatiques et plus particulièrement pluviométriques s'effectue d'abord d'une manière quantitative. Les volumes relevés doivent être observés à différents pas de temps. A l'échelle annuelle, les totaux des volumes précipités déterminent la régularité ou non des précipitations sur l'île et l'impact de certains phénomènes exceptionnels comme les cyclones. A noter que les épisodes exceptionnels sont souvent sous évalués du fait de la saturation des outils de mesure ou de leur destruction pure et simple comme cela fut le cas pour le cyclone Gamède en 2007 qui a détruit le radar météorologique du Colorado à La Réunion. En effet le passage d'un ou plusieurs cyclones dans la zone observée a tendance à modifier largement les bilans annuels et à pousser à de fausses interprétations, si l'on reste au pas de temps annuel. L'observation des données mensuelles permet de définir la répartition annuelle avec les périodes humides et sèches et de caractériser la saisonnalité des pluies. Les stations d'enregistrement en continu offrent aussi la possibilité d'observer des phénomènes ponctuels et courts qui n'apparaîtraient pas sur un bilan quotidien ou mensuel (fortes averses, orages...) et dont l'impact sur les hydrosystèmes peut s'avérer fort. Plus spécifiquement dans le cadre d'études lacustres, les données pluviométriques jouent un rôle indispensable. Les rythmes des lacs sont souvent conditionnés par les précipitations ainsi le croisement des volumes précipités avec les données de niveau des lacs font apparaître une multitude de phénomènes hydrologiques (retentions du bassin hydrographique, pondération liée aux lacs...). De plus, les rythmes (annuels, mensuels, quotidiens,...) des précipitations vont permettre de caractériser les régimes lacustres et d'en observer les impacts.

Les données pluviométriques peuvent aussi être envisagées dans une dimension qualitative en intégrant les autres composantes climatiques. On entre alors dans un registre plus large d'analyse climatique. L'observation affinée des climats ne correspond pas à notre démarche de recherche mais nous aurons recours à certaines données climatiques (températures, hydrométrie, insolation...) autres que pluviométriques pour expliquer les influences du climat sur les hydrosystèmes lacustres. En effet l'évolution des climats influence de plus en plus les écosystèmes et leur préservation, en particulier pour les espaces en danger. Les changements actuels (études du GIEC¹³⁷) nous imposent de ne plus négliger ce facteur et d'y attacher une importance prépondérante car le réchauffement climatique actuel créé des bouleversements (accroissement des périodes de sécheresse, multiplication des épisodes exceptionnels, variation des niveaux des océans) dont nous ignorons encore l'ampleur. Les variations de climat conditionnent l'évolution de la zone humide dans son ensemble avec le développement ou la disparition de certaines espèces animales et végétales

¹³⁷GIEC, 2008

sensibles. L'intégration de ces paramètres climatiques est donc aujourd'hui fondamentale pour établir des scénarios de gestion à long terme.

2.3.2.2. Données hydrométriques.

Les données hydrométriques correspondent à l'ensemble des écoulements de surface, excluant bien sûr les écoulements souterrains qui représentent une part souvent sous-estimée dans le calcul des écoulements globaux. La mesure des volumes écoulés en surface reste une des principales problématiques en hydrologie. La mesure de ces écoulements de surface nécessite un matériel spécifique pour les mesures ponctuelles ainsi que des stations de mesures en continu pour le suivi des points stratégiques. La mise en place de tels matériels est très coûteuse et nécessite des compétences spécifiques. En France, les mesures de ces écoulements sont effectuées par divers organismes de surveillance, possédant chacune leur propre réseau (DREAL, Office de l'Eau, DRASS,...) qui regroupent l'ensemble de leurs données au sein du SIE (système d'information sur l'eau) géré par les agences de bassin. Chaque bassin possède donc un réseau dense de mesures qui permet d'effectuer une surveillance tant qualitative que quantitative des ressources en eau. Pour l'île de La Réunion, l'Office de l'eau, principal organisme de surveillance possède environ 200 stations¹³⁸ de suivi quantitatif des eaux de surface dont 33 à enregistrement continu, comptées par 36 stations de suivi qualitatif des cours d'eau et plans d'eau pour 13 rivières pérennes, 3 étangs littoraux et quelques étangs intérieurs. Pour l'île Maurice, le réseau de surveillance géré par the Water Resource Unit est moins dense, il se compose de 106 stations de mesure dont 59 à enregistrement continu pour 25 rivières majeures et 21 mineures (classification Water Resource Unit).

Dans le cadre de notre travail de recherche, nous n'avons pas à disposition de tels matériels, nous avons donc eu recours à l'ensemble des mesures mises à disposition par l'Office de l'eau qui a collecté l'ensemble des données liées à l'étude des eaux réunionnaises sur son serveur SIE Réunion (système d'information sur l'eau) mis en place par l'agence de bassin. Il nous est donc possible d'accéder aux nombreuses données quantitatives et qualitatives des différentes stations du réseau de mesure mis en place à La Réunion. Pour les données hydrologiques de Mayotte, le réseau s'avère moins développé et se trouve géré par la DAAF (Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt) et le comité de bassin de Mayotte. Aucun portail numérique ne regroupe des données, il a donc fallu effectuer la collecte des données auprès des différents services

¹³⁸ Consultables sur <http://banquededonnees.eaureunion.fr/bdd/>

en charge du réseau¹³⁹. Dans le cadre du réseau hydrologique de l'île Maurice, l'ensemble des données et de leur synthèse sont mises en ligne sur le portail gouvernemental en particulier sur les pages de la Central Water Authority, qui fait office de référence dans ce domaine. ce qui permet une consultation rapide. Pour les données plus spécifiques en particulier certains types de cartes, la prise de contact avec les organismes lors de séjours sur place a permis de découvrir et de comparer les techniques de travail.

Parmi les données hydrométriques collectées pour notre travail de recherche, nous pouvons distinguer deux types très spécifiques :

- Les données quantitatives
- Les données qualitatives

Les données quantitatives correspondent aux différentes mesures de hauteur d'eau effectuées dans les cours d'eau et plans d'eau. Ces mesures permettent par l'intermédiaire de corrélation d'établir les débits et les volumes des différentes unités hydrologiques observées. Pour les cours d'eau, il faut différencier les mesures continues des mesures instantanées. Pour effectuer des mesures continues de débit, la station de jaugeage¹⁴⁰ placée sur une zone stable du cours d'eau mesure le niveau d'eau qui sera ensuite corrélé avec une courbe de tarage basée sur des hauteurs et des débits de référence. Pour les mesures instantanées, les méthodes varient selon les volumes à mesurer : l'empotement¹⁴¹ permet de mesurer les débits les plus faibles (quelques litres par minutes), la méthode de la dilution¹⁴², basée sur l'utilisation d'un traceur correspond aux cours d'eau torrentiels, le courantomètre¹⁴³ s'applique sur les débits médians et la technique du flotteur s'applique pour des mesures en période de crues, quoique de manière approximative. Cependant ces techniques n'offrent qu'une approche du débit réel car le débit mesuré ne tient pas compte pas l'écoulement souterrain, des suintements et des contre-courants. C'est pourquoi il est indispensable d'aborder ces données avec la plus grande prudence. Pour les plans d'eau, la présence d'échelles limnimétriques (**photo.11**) permet d'effectuer un suivi régulier des volumes lacustres mais les données restent ponctuelles. Pour des mesures continues, la présence de sonde enregistreuse et de station de jaugeage (**photo.12**) en aval des lacs présente un suivi continu pour l'observation de phénomènes rapides liés à des épisodes exceptionnels. Pour donner une cohérence à l'ensemble de

¹³⁹ Les données hydrométriques ont été prêtées à titre gracieux et sans conditions par la DAAF en vue d'une exploitation.

¹⁴⁰ Cosandey.C, Robinson.M, 2000, p245-246

¹⁴¹ Cosandey.C, Robinson.M, 2000, p241

¹⁴² Cosandey.C, Robinson.M, 2000, p242

¹⁴³ Cosandey.C, Robinson.M, 2000, p242-243

ces données, un suivi doit s'exercer sur l'ensemble d'un bassin d'alimentation avec des dispositifs en tête de bassin ainsi qu'aux embouchures afin de croiser les données. Dans le cadre de cette recherche, de nombreuses données hydrométriques ont été collectées pour étudier les cycles hydrologiques. Ainsi pour le Grand Etang (Réunion), 2675 relevés de niveau d'eau entre 2004 et 2011 et pour l'Etang Saint-Paul, 5113 données hydrométriques entre 1994 et 2007 ont été dépouillées pour analyser les comportements de ces masses d'eau.



Photographie 11 : L'échelle limnimétrique du Grand Etang (Réunion)



Photographie 12 : Station enregistreuse de l'Etang Saint Paul (Réunion)

Clichés Mathelin, 2008

La connaissance des écoulements de surface ne se réduit pas seulement qu'à la maîtrise des volumes mais aussi à leur nature, cela correspond à la dimension qualitative des mesures. Connaître la composition des masses d'eau conduit d'en apprécier les différences et de déterminer leur qualité en fonction des critères d'utilisation. La composition des eaux de surface se décline au travers de caractères physico-chimiques (température, matières en suspension, turbidité, conductivité, taux d'oxygène, présences de chlorures, de nitrates...) qui ont des impacts sur les différents écosystèmes. A ces caractéristiques naturelles s'ajoute l'ensemble des pollutions causées par les actions anthropiques comme l'agriculture dont les apports de nitrates contenus dans les engrais et les pesticides sont créateurs de pollutions. Le suivi de la qualité des eaux s'effectue aussi par l'observation d'indicateurs de qualité des eaux constitués par une série de micro-organismes et de macro-invertébrés sensibles aux variations de la qualité des eaux. Pour les données qualitatives, les lacs, du fait de leur étendue, contrastent avec le raisonnement linéaire de l'analyse des cours d'eau pour lesquels la qualité tend à se dégrader de la source vers l'embouchure. En effet dans un espace lacustre, on assiste à une véritable régionalisation des phénomènes dans une dimension horizontale

et verticale, cela crée une grande diversité d'écosystèmes à l'intérieur d'une même entité hydrologique. Le contrôle de la qualité de l'eau s'inscrit souvent dans une politique globale d'assainissement permettant l'accès à la ressource en eau. La nature des eaux d'un lac apporte de multiples informations sur les rythmes de vie d'un plan d'eau, ainsi des eaux entrantes fortement chargées en MES risquent de favoriser un comblement rapide de la cuvette lacustre, une eau pauvre en oxygène va constituer un milieu délicat pour le développement de certains écosystèmes, enfin la présence de nitrates ou autres polluants va traduire l'impact de certaines activités anthropiques sur les réseaux hydrographiques. La problématique de l'eau douce et de sa qualité est donc fondamentale pour les espaces insulaires du fait de la rareté de cette ressource et de sa fragilité.

2.3.2.3. Données piézométriques.

Les données piézométriques correspondent à l'ensemble des mesures du niveau des eaux souterraines. L'analyse de ces eaux souterraines dépend plus largement de l'hydrogéologie sur laquelle nous nous attarderons peu dans cette recherche hormis pour appréhender les impacts sur l'écoulement de surface. Les sols contiennent une grande diversité de nappes libres ou captives de taille variable. Ces masses d'eau souterraines, exploitées par les Hommes et indispensables en période d'étiage et de sécheresse connaissent un suivi régulier afin d'éviter leur assèchement¹⁴⁴.

Le suivi de ces masses d'eau souterraines est réalisé par l'intermédiaire de puits de forage dans lesquels des sondes permettent d'appréhender le niveau de la masse d'eau et sa composition à partir de critères pré-définis (conductivité, turbidité, taux de nitrates, taux de chlorures...). Pour La Réunion, le réseau de surveillance, à la charge de l'Office de l'eau, se compose de 62 stations¹⁴⁵ d'observation et de mesure pour les 16 nappes identifiées, ce qui en fait le plus dense de l'océan Indien. Mayotte, autre territoire français de l'océan Indien, possède aussi son réseau de suivi avec 11 piezomètres¹⁴⁶ (**fig.44**) chargés de suivre les quatre principales masses d'eau de l'île. Enfin l'île Maurice qui a exploité dès les années 1960 ses ressources souterraines pour pallier à son manque d'eau, possède aussi un réseau développé avec plus de 1650 puits de forage creusés depuis le début de l'exploitation mais un réseau de surveillance réduit avec seulement 20 stations de suivi surveillées par the Water Resource Unit. Notre travail de recherche va donc s'appuyer sur les données piézométriques collectées par l'Office de l'eau pour les territoires français et par the Water Resource Unit pour le territoire mauricien. Cependant nous n'utiliserons que les conclusions de ces

¹⁴⁴ Cosandey.C, Robinson.M, 2000, p174

¹⁴⁵ Consultables sur <http://banquededonnees.eaureunion.fr/bdd/>

¹⁴⁶ Source : DAAF Mayotte

organismes pour traiter ces données car nous ne possédons pas les compétences hydrogéologiques pour effectuer une critique scientifique des analyses.



Figure 44 : Piezomètre de Kani Kéli (sud-ouest de Mayotte)

L'observation et la compréhension des mécanismes hydriques souterrains sont indispensables pour les espaces insulaires qui se trouvent souvent confrontés au manque d'eau douce en milieu tropical, ce qui impose d'exploiter les ressources accumulées dans les sols et sous-sols. Les prélèvements importants (à des fins domestiques, agricoles, industrielles,...) ainsi réalisés par les différents puits de forage provoquent la diminution du niveau des nappes souterraines. Un double danger apparaît par rapport à cette situation, tout d'abord un risque de salinisation rendant les masses d'eau impropres à l'exploitation du fait de la présence d'un environnement marin et de la création d'un déséquilibre entre les masses d'eau douce et les masses d'eau maritime sur les franges littorales. Ensuite le risque évident d'assèchement face à des prélèvements excessifs en période sèche et des recharges de nappes insuffisantes durant la période des pluies. Le suivi quantitatif de ces nappes est donc un enjeu fondamental pour ne pas perdre cette précieuse ressource. Plus spécifiquement pour l'observation des milieux lacustres, ces nappes d'eau douce jouent un rôle indirect mais certain. Les liaisons entre les zones humides et les nappes d'eau sont quelquefois complexes¹⁴⁷ mais basées sur une interdépendance, ainsi l'exemple de l'Etang Saint Paul à La Réunion va constituer une situation tout à fait caractéristique de la nature de ces relations¹⁴⁸. Le lac et sa zone humide, par sa caractéristique de milieu saturé en eau correspond à un point d'alimentation favorable pour les nappes. L'infiltration des eaux du lac permet donc d'alimenter des nappes plus profondes. Réciproquement la nappe souterraine permet le maintien, tout comme pour

¹⁴⁷ Jean Coudray, 2012

¹⁴⁸ TCO, 2005, p186-205

les cours d'eau, du niveau durant les périodes d'étiage. Il est aussi à souligner le rôle des lacs et de l'ensemble de la zone humide qui est un véritable filtre pour la qualité de l'eau, afin d'atténuer les impacts des activités anthropiques ; les eaux ainsi filtrées peuvent alors poursuivre leur écoulement en surface ou en profondeur.

Les eaux souterraines et leurs caractéristiques sont souvent le reflet de l'ensemble des activités de surface. Les nappes confrontées à des pressions agricoles intenses avec l'utilisation de pesticides et d'engrais connaissent alors d'importantes dégradations de leur qualité pouvant amener à l'abandon de leur exploitation. La qualité des eaux souterraines influence largement son usage, dans le cadre de consommation domestique, des nappes d'eau présentant des traces de polluants ne peuvent être exploitées que suite à un traitement important induisant un surcoût et diminuant de fait la rentabilité de la nappes. Ces ressources possèdent donc une fragilité évidente ; elles sont aussi le réceptacle des erreurs du passé. L'accumulation de produits et de substances dans les sols se retrouve dans les nappes et mettent plusieurs années voire décennies à disparaître des nappes du fait de la lenteur du renouvellement des masses d'eau. Le suivi de telles masses d'eau est synthétisé en France dans le cadre des SDAGE, rédigés par les comités de bassin qui présentent un état des lieux des volumes mais aussi de la qualité des masses d'eau. Ainsi La Réunion présente des masses d'eau de bonne qualité mais avec la présence de traces importantes de pesticides dont certaines sont interdites depuis plusieurs années et dont la disparition s'avère particulièrement lente malgré les changements de pratiques agricoles. Pour les autres territoires observés, les mesures et les résultats sont réalisés par Water Resource Unit qui effectue des rapports annuels. L'île Maurice présentant une véritable situation de stress hydrique, ces résultats constituent une donnée stratégique. Le suivi de ces mesures piezométriques et des rapports effectués conditionne en partie la gestion des lacs-réservoirs mauriciens dont les volumes en eau compensent le faible niveau des nappes en certaines périodes de l'année.

2.3.3 Méthodologie de l'analyse biologique.

Identifier les différents organismes vivants peuplant les milieux aquatiques constitue un des indicateurs fondamentaux de l'état de santé d'un écosystème. La composition faunistique et floristique d'un milieu résulte de l'ensemble des facteurs écologiques qui le conditionnent (climat, régime hydrologique, composition physico-chimique des eaux, morphologie du site, influence anthropique...). Ainsi ces indicateurs biologiques sont des compléments intéressants aux indicateurs physico-chimiques car ils intègrent les impacts sur la faune et la flore et permettant de voir l'évolution des écosystèmes à différentes échelles de temps. La particularité de l'observation

des espèces faunistiques et floristiques dans un espace insulaire repose sur la question de l'endémisme¹⁴⁹, avec le développement d'espèces spécifiques possédant un comportement et des caractéristiques propres. De plus, le contexte tropical humide favorise le développement d'écosystèmes riches qui font de ces îles de véritables réservoirs de biodiversité.

2.3.3.1. Espèces faunistiques.

Parmi les espèces recensées, il faut différencier les espèces terrestres (oiseaux, rongeurs, animaux divers), et les espèces aquatiques (poissons et invertébrés); chacune nécessite des techniques d'observation adaptées.

L'observation des espèces terrestres se base sur une technique de recensement régulier afin d'établir un état des lieux ponctuel des écosystèmes. Les espèces terrestres sont recensées par des organismes spécialisés (Office National des Forêts, Conservatoire des Mascariens...) mais aussi diverses associations (SEOR¹⁵⁰, SREPEN...) grâce à des techniques d'observation (comptages) ou de piégeage qui permettent d'établir ou non leur présence. Les recensements ainsi effectués, il est possible de vérifier l'évolution des groupes afin d'établir des mesures de protection en cas de diminution dangereuse ou des mesures de limitation face à une prolifération incontrôlée. Ne disposant pas des éléments techniques permettant d'effectuer des captures d'espèces terrestres comme les oiseaux ou certains mammifères de petites taille, nous avons donc effectué des observations lors des visites de terrain, aidé en cela par un référentiel faunistique¹⁵¹. Nous baserons donc l'essentiel de l'analyse de ces espèces terrestres sur les observations de terrain et les conclusions des divers organismes spécialisés en ce domaine. Ces espèces terrestres constituent la partie visible des écosystèmes et suscitent donc l'intérêt des touristes qui viennent les observer dans leur milieu naturel. Ainsi l'avifaune observable sur l'Etang Saint Paul de La Réunion est l'une des plus exceptionnelle de l'île ; elle attire des amateurs de tout l'océan Indien. Ces oiseaux constituent un patrimoine fondamental et une identité pour l'île dont certains oiseaux comme le paille en queue ou le papangue (**photo.13**) sont devenus des symboles (dessins, sculptures, bijoux...) pour les populations locales. Cependant ces espèces terrestres ne représentent qu'une part réduite de notre recherche qui va se centrer essentiellement sur le monde aquatique.

¹⁴⁹ Demangeot.J, 1999, p285-285

¹⁵⁰ Site de l'association <http://www.seor.fr>

¹⁵¹ Blanchard.F, 1999



Photographie 13 : Un papangue
Cliché IRT

Les espèces aquatiques constituent de véritables marqueurs des écosystèmes aquatiques mais leur sensibilité face aux dégradations des écosystèmes varient selon les groupes observés. Ne disposant pas des moyens matériels pour effectuer des observations en milieu aquatique, notre travail se basera, pour La Réunion et Mayotte, sur les méthodologies et les conclusions¹⁵² des diverses institutions compétentes dans ce domaine (Office de l'Eau, Université de La Réunion, Conseil supérieur de la Pêche...) mais aussi certaines associations spécialisées comme l'ARDA (Réunion). Pour la situation de l'île Maurice, les rapports du Ministry of Environment and Sustainable Development serviront de base de travail. L'étude va bien sûr classiquement distinguer les populations aquatiques vertébrées (principalement les poissons) des populations invertébrées (principalement les macro-invertébrés).

Pour les populations aquatiques vertébrées, la population piscicole constitue un marqueur très visible des écosystèmes avec la présence de certaines espèces caractéristiques. Le protocole d'observation de ces espèces en cours d'eau est basé sur la technique des pêches électriques réalisées par des organismes spécialisés (DIREN, Conseil supérieur de la pêche...) qui établissent des relevés sur des portions de cours d'eau pour en connaître la biodiversité. Un matériel spécifique constitué d'une perche alimenté par une batterie. Le courant de faible intensité générée a pour effet d'étourdir les poissons qui sont ensuite récupérés dans une épuisette ou un filet situé en aval. De telles pratiques de pêche ne sont autorisées qu'à des organismes comme le Conseil supérieur de la pêche (CSP) mandatés pour effectuer des recensements et retirer les espèces nuisibles. Pour l'observation des lacs, l'ensemble des techniques et protocoles d'observation cités précédemment doivent être adaptés. Les techniques de pêche électriques utilisées en cours d'eau ne sont pas applicables dans un lac où les profondeurs peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres. Dans le cadre de plans d'eau vidangeables, la connaissance des espèces piscicoles et des principaux crustacés est possible ainsi que la maîtrise de leur population ; en revanche, pour un lac naturel,

¹⁵² Keith P, Vigneux E, Bosc P, 1999

seuls quelques prélèvements, manuels ou par une pêche au filet, offrent la possibilité d'évaluer les effectifs du lac. Les espèces relevées permettent une notation du cours d'eau grâce à l'IPR (Indice Poissons Rivière)¹⁵³. Cependant cette grille de notation établie à partir des espèces françaises métropolitaines ne correspond pas aux espèces présentes dans les espaces ultra-marins. Il est donc nécessaire d'adapter cette technique pour proposer une nouvelle grille de référence ; en cela l'ARDA¹⁵⁴ et le CNRS propose de nouvelles techniques.

Concernant les populations d'invertébrés, plus particulièrement les macro-invertébrés (supérieurs à 500µm, c'est à dire visibles à l'œil nu), qui sont les points de départ des chaînes alimentaires aquatiques. Ces micro-organismes sont très sensibles à la qualité de l'eau, la présence ou la disparition de certains taxons traduit une variation de la qualité des eaux¹⁵⁵. Le recensement des macro-invertébrés s'effectue grâce à la technique des IBGN¹⁵⁶ (Indice Biologique Global Normalisé) qui permettent d'effectuer des prélèvements en milieu lentiques parmi les divers faciès présents (végétaux, cailloux, sables...). A partir des taxons identifiés, il est possible d'établir une notation caractérisant la portion du cours d'eau. En milieu benthique, la technique des IBGN se confronte à certains problèmes. Les prélèvements sur les berges sont toujours possibles mais se trouvent difficile à effectuer lorsque la profondeur s'accroît, s'offrant alors qu'une vision partielle le l'écosystème lacustre. Les travaux de Goulan.V¹⁵⁷ sur les plans d'eau réunionnais offrent des solutions pour les prélèvements en profondeur, en particulier avec le recours d'une benne d'Ekman. L'analyse des macro-invertébrés se basera donc sur les résultats de cette étude mais sur les travaux plus actuels menés par l'Office de l'Eau.

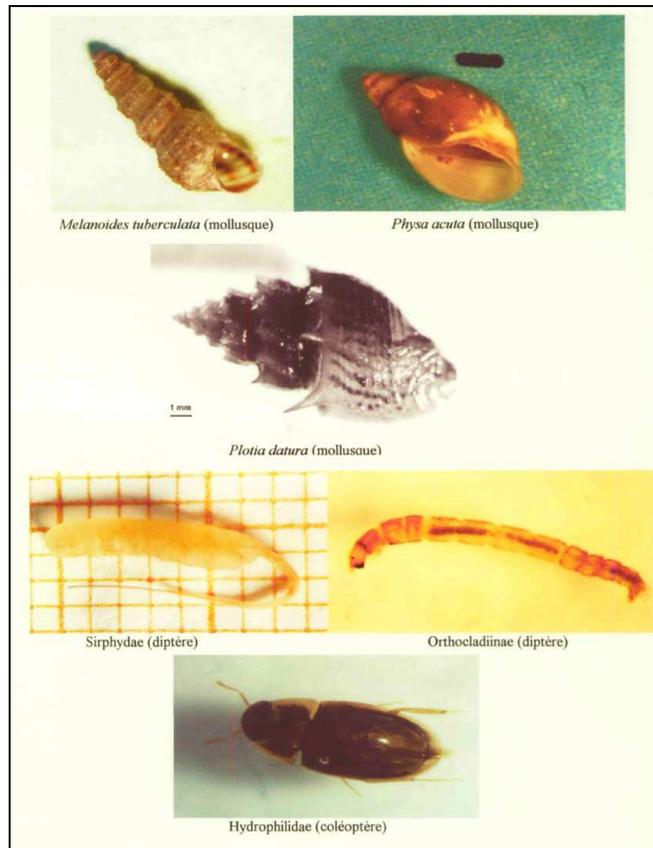
¹⁵³ Onema, 2006

¹⁵⁴ ARDA, 2013

¹⁵⁵ Tachet.H, Bournaud.M, Richoux.Ph, 1984

¹⁵⁶ Génin, B, Chauvin C, Ménard F, 1997, p77-109

¹⁵⁷ Goulan.V, 2001



Photographie 14 : Macroinvertébrés caractéristiques des plans d'eau de La Réunion

Cliché Goulan, 2001

2.3.3.2. Espèces floristiques.

L'observation et l'analyse des espèces floristiques permet de caractériser les paysages, ils traduisent les interactions entre les Hommes et leur environnement et constituent l'identité d'un territoire. Les paysages en particulier dans le domaine tropical renferment de même une grande diversité d'espèces végétales qui définissent sa biodiversité et son intérêt environnemental. L'identification des espèces et la compréhension de leur rôle au sein de l'écosystème conduit à établir des liens d'interdépendance ou de conflits entre les espèces, indispensables à tout acte de gestion. Dans le sud-ouest de l'océan Indien, la dimension insulaire accroît la spécificité de ces espèces végétales avec la présence de certaines espèces endémiques¹⁵⁸ dont les caractéristiques sont propres au territoire observé. Les travaux de Cadet.T¹⁵⁹ pour La Réunion et l'île Maurice ont servi de points de départ sur connaissance de ces écosystèmes et l'actualisation de ces travaux permettent d'appréhender les évolutions actuelles du fait de la présence d'espèces exotiques envahissantes.

¹⁵⁸ Cadet.T, 1977

¹⁵⁹ Cadet, T, 1981

Ainsi la préservation des paysages est un enjeu face aux menaces diverses pesant sur les écosystèmes (pollutions, urbanisation, incendies...).

La méthodologie d'analyse des espèces floristiques va croiser les observations de terrain effectuées tout au long de notre cycle de recherche et les conclusions des organismes de gestion comme la DREAL (ex-DIREN) en charge de ces zones faunistiques sensibles. Ce travail s'est décliné à deux échelles, tout d'abord à petite échelle par l'intermédiaire de carte et de photographies aériennes pour identifier les grandes strates végétales dans lesquelles se situaient les lacs insulaires puis à plus grande échelle par des visites de terrain pour identifier certaines espèces plus spécifiques. Le travail à petite échelle a débuté par l'analyse de supports cartographiques¹⁶⁰ puis l'observation de photographies aériennes (Géoportail, Google Earth). Le recours à des photographies aériennes qui ont été géoréférencées a permis d'identifier certaines strates de végétation à petite échelle.

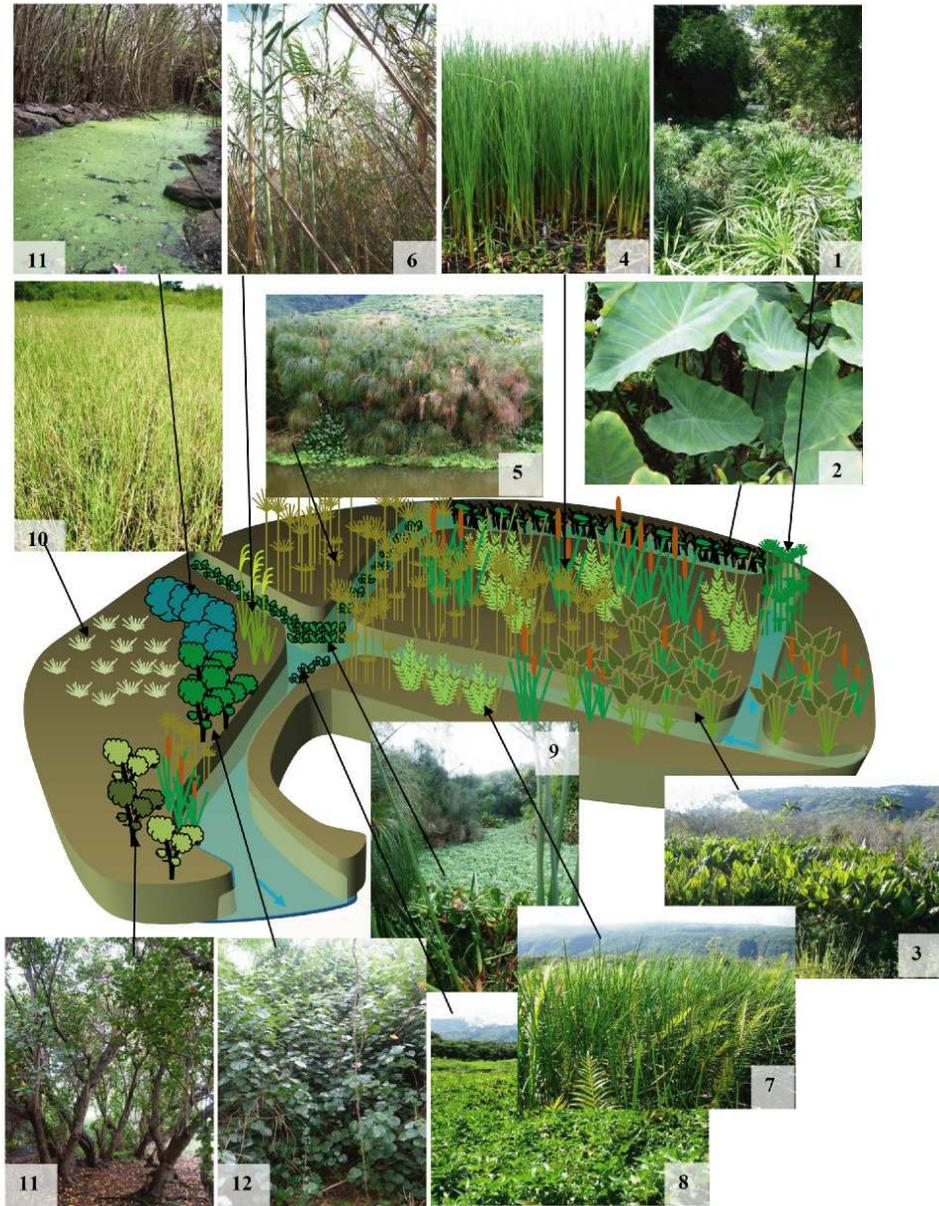
Ce premier travail a été affiné par la suite par des visites de terrain qui ont permis d'identifier d'autres strates de végétation visibles qu'uniquement à grande échelle. Les diverses visites de terrain accompagnées d'un GPS ont permis de géolocaliser certaines espèces remarquables (espèces endémiques) afin d'établir une cartographie de ces espèces à des fins de valorisation touristique (création de parcours pédagogique et de sentiers de découverte des espèces endémiques des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien). Nous avons pu aussi compléter notre étude en partie par des travaux complémentaires réalisés par des organismes spécialisés (ONF, DREAL...) comme dans le cadre du Grand Etang de La Réunion¹⁶¹. Cependant la réalisation d'une carte de la végétation lacustre pose des problèmes techniques du fait de l'accès difficile à certaines zones. La contrainte majeure est l'aspect marécageux de certaines parties du lac qui empêchent l'accès par la marche à pied. Cette contrainte a été fréquente pour les lacs côtiers comme l'Etang Saint Paul, l'Etang de Bois Rouge à La Réunion ou même certains deltas de lacs. Le contournement de cette contrainte serait le recours à la navigation mais l'usage d'embarcations sur certains plans d'eau (réservoirs ou réserve naturelle) est soumis à autorisation. Etant donné que la majorité de ces zones humides disposent d'une réglementation spécifique du fait de leur intérêt écologique, ces autorisations n'ont pu être obtenues. La localisation de certaines espèces aquatiques s'est donc fait par observation depuis les berges, ce qui peut expliquer certaines marges d'erreur. Enfin la saisonnalité de certaines espèces aquatiques, favorise leur retrait durant une partie de l'année, de même que les épisodes pluvieux exceptionnels peuvent provoquer leur arrachement comme cela fut

¹⁶⁰ Atlas de la La Réunion, 2003, p30-34

¹⁶¹ DIREN, 2006

le cas pour les jacinthes d'eau de l'Étang Saint Paul (espèces envahissantes) dont une grande partie fut évacuée suite à un épisode pluvieux exceptionnel en novembre 2009 et une rupture brutale du cordon littoral. Néanmoins ces espèces exotiques envahissantes évoluent vite et les mesures effectuées à une saison peuvent connaître des évolutions fortes. Pour pallier les contraintes citées précédemment, nous avons eu recours au principe des toposéquences (**fig.42**) proposées par le Conservatoire des Mascariens pour les masses d'eau réunionnaises. Cette technique permet à partir de visites de terrain et d'une schématisation de la zone humide, d'identifier les principales strates végétatives présentes. Ce type d'analyse correspond à un « instantané » des formations végétales sans avoir la nécessité d'une géolocalisation précise dont la pérennité de mesure est réduite. Il est ainsi possible aux néophytes de s'approprier cette cartographie des espèces végétales et de pouvoir rapidement comparer des masses d'eau entre elles.

L'analyse des paysages lacustres insulaires par les toposéquences
l'exemple de la toposéquence de l'Etang Saint Paul (Réunion).



Espces vgtales observes :

- | | |
|--|--|
| 1 : Groupement <i>Cyperus involucratus</i> | 7 : Cyprace <i>Eleocharis dulcis</i> |
| 2 : Groupement <i>Colocasia esculenta</i> et <i>Panicum senegalensis</i> | 8 : Groupement <i>Ipomoea aquatica</i> |
| 3 : Ensemble <i>Typhonodorum lindleyanum</i> | 9 : Vgtation aquatique flottante <i>Pistia stratiotes</i> et <i>Eichhornia crassipes</i> |
| 4 : Roselières à <i>Typha domingensis</i> | 10 : Prairies humides à <i>Setaria geminata</i> |
| 5 : Roselière à <i>Cyperus papyrus</i> | 11 : Fourrés à <i>Schinus terebinthifolius</i> |
| 6 : Roselières à <i>Phragmites mauritianus</i> | 12 : Groupement <i>Heritiera littoralis</i> |
| | 13 : Groupement <i>Hibiscus tiliaceus</i> |

Source : Conservatoire botanique Mascarin.
Données retravaillées et mises en forme : E. MATHELIN.
E. MATHELIN, Laboratoire de cartographie, Université d'Orléans, 2013.

Figure 45 : Méthodologie de l'étude des paysages lacustres

Conclusion partielle :

Ces lacs insulaires, comme nous l'avons démontré, correspondent à des masses d'eau d'une superficie et d'une profondeur suffisante pour permettre la régionalisation des comportements lacustres (stratification thermique, zonage sédimentaire, oxygénation...) en vertu de la définition d'un lac. L'origine de ces plans d'eau est à la fois liée à des épisodes naturels (volcanisme, érosion, ...) mais aussi à l'action des Hommes. Pour répondre à leurs besoins grandissant en eau, les sociétés insulaires ont aussi recréé des masses d'eau artificielles présentant aussi des comportements lacustres (lacs-réservoirs).

Les recensements effectués nous ont permis d'observer diverses masses d'eau à partir de données cartographiques, confirmées par des observations de terrain quand cela a été possible, mais toutes ne présentent pas pour autant des caractères lacustres. L'étude s'est donc centrée sur les entités les plus remarquables caractérisées comme lacs et présentant des potentialités de valorisation capables d'influencer les sociétés. Le recensement a donc permis de recentrer la zone d'étude à trois îles principales (Réunion, Maurice, Mayotte) regroupant l'essentiel des lacs insulaires. Une base de données communes a été établie pour faciliter les études croisées

Cette étude a établi une première classification des types de lacs afin de les comparer par la suite à classification lacustre internationale pour les replacer dans un contexte mondial. Nous avons pu retenir quatre profils différents basés sur des critères liés à leur formation : les lacs naturels d'origine volcanique, les lacs naturels dus à des agents de transport, les lacs-réservoirs, les lacs hybrides. A partir de cette classification, les différents terrains d'étude retenus et représentatifs de l'ensemble des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien ont donc été répartis.

A l'aide du suivi effectué sur ces plans d'eau par les instances en charge de la gestion, un protocole d'observation a donc été mis en place pour observer différents critères (morphologiques, hydrologiques et biologiques) afin de caractériser les comportements hydrologiques de ces plans d'eau, représentatifs des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.

3. Analyse des limnosystèmes insulaires dans le sud-ouest de l'océan Indien.

Les lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien constituent des objets géographiques originaux comme nous avons pu l'observer précédemment au travers de leur situation d'isolat d'eau douce. Cependant en tant que lac, ils possèdent des caractéristiques morphologiques, hydrologiques et biologiques qui les différencient en partie de leurs homologues continentaux. Nous allons tenter dans cette troisième partie, d'observer les caractéristiques de ces plans d'eau pour en définir les particularismes afin de mettre en avant leur typicité.

Chapitre 3.1. Analyse morphologique des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.

3.1.1. Les caractéristiques des bassins d'alimentation.

Les bassins d'alimentation des lacs correspondent à la zone d'interception des eaux de surface qui d'alimentent le lac. Cette zone est définie par des interfluves qui séparent les bassins versant les uns des autres. Le sommet de l'interfluve correspond à la ligne de partage des eaux et le basculement vers un autre bassin d'alimentation. Dans le cadre des espaces insulaires, les bassins d'alimentation connaissent des superficies, des morphologies, des occupations et des réseaux hydrographiques qui en font leur spécificité.

En matière de superficie, les bassins d'alimentation des lacs insulaires présentent des contrastes exceptionnels (**tableau.6**). Sur l'ensemble des lacs observés, la moyenne de la taille des bassins d'alimentation se situe à 23,97 km² pour des lacs dont la superficie moyenne est de 132ha, ce qui en fait des entités hydrologiques remarquables étant donné l'étroitesse des espaces insulaires. Cependant cette moyenne révèle des contrastes forts entre les lacs intérieurs et les lacs littoraux. Ainsi l'Etang Saint Paul (447ha) à La Réunion, lac côtier, possède un bassin d'alimentation de plus de 106km² s'étendant du niveau de la mer jusqu'à 2280m d'altitude, ce qui représente 4,12% de la surface de La Réunion et en fait le bassin d'alimentation le plus étendu des lacs du sud-ouest de l'océan Indien. Appliqué à l'échelle du territoire français, de telles proportions donneraient naissance à un bassin d'alimentation de 22 000km², ce qui correspond à l'ensemble du bassin d'alimentation de la Vienne (21 105km²)¹⁶². Cet exemple est à opposer à d'autres lacs, comme le Dziani Dzaha (5ha), situé sur l'île de Mayotte, sur l'île de Petite Terre ; ce lac de cratère dont le bassin d'alimentation est de 0,9km² avec une forme quasi circulaire épousant les rebords du lac de

¹⁶² Source : Sandre, Fiches cours d'eau

cratère. Les écarts en matière de taille des bassins d'alimentation peuvent donc s'avérer immenses. Ces contrastes s'expliquent par la structure de ces îles volcaniques. Les plus grands bassins concernent les plans d'eau littoraux, le plus souvent constitués de planèzes volcaniques, basculés au gré de l'histoire géologique des îles. L'érosion a pu creuser ses immenses surfaces dont les sédiments furent transportés sur les littoraux pour former des plaines littorales dans lesquels les lacs côtiers ont pu apparaître. La situation très en aval de ces lacs avec un rôle d'exutoire des eaux intérieurs permet de concentrer ainsi plusieurs bassins versant et de constituer des bassins d'alimentation très étendus. A l'inverse, l'intérieur de l'île correspond à des reliefs plus tourmentés et disséqués consécutifs des grands épisodes géologiques (anciens volcans, glissements de terrain, cirques...) qui ont façonné l'espace insulaire. Malgré les phénomènes érosifs qui ont pu réduire certains reliefs, l'intérieur des îles n'offrent que très peu de grandes surfaces d'interception pour les lacs, ce qui explique que les bassins d'alimentation soient plus réduits, s'adaptant à ces reliefs plus découpés. Dans cette observation de la superficie des bassins d'alimentation, aucune différenciation nette n'apparaît concernant les lacs naturels et leurs homologues anthropiques.

Tableau 6 : Caractéristiques des principaux bassins d'alimentation des lacs observés

Nom zone humide	Localisation	Superficie (km ²)	Bassin alim (km ²)	Coef domination	Altitude lac	Altitude max bassin d'alimentation	Pente (point culminant / lac)
Grand Etang	Réunion	0,4	5,90	14,8	52m5	1550m	23,03%
Etang Saint Paul	Réunion	4,47	106,00	23,7	1m	2280m	16,4%7
Etang du Gol	Réunion	0,41	97,00	236,6	1m	2558m	15,77%
Lac Dziané	Mayotte	0,2	0,90	4,5	6m	103m	21,56%
Réservoir Combani	Mayotte	0,23	4,60	20,0	139m	444m	12,20%
Réservoir Dzoumogné	Mayotte	0,22	7,60	34,5	57m	472m	15,37%
Mare aux Vacoas	Maurice	5,6	19,50	3,5	569m	680m	3,26%
Midlands	Maurice	2,98	17,20	5,8	390m	590m	3,77%
Grand Bassin	Maurice	0,07	NE	NE	650m	670m	6,67%

NE : Donnée non évaluée

La pente constitue aussi un facteur fondamental du fonctionnement des bassins d'alimentation en milieu insulaire. Elle conditionne en partie les vitesses d'écoulement au sein de ces derniers. Sur les lacs observés, les pentes des bassins sont très fortes, oscillant en moyenne entre 15 et 25% (**fig.46**) et pouvant atteindre des pentes de 80% pour les pentes les plus marquées sauf exception¹⁶³. Ces fortes pentes, souvent peu linéaires favorisent des ruptures avec l'apparition de cascades. De telles pentes couplées aux précipitations tropicales, engendrent des vitesses

¹⁶³ L'étang de Bois Rouge, à La Réunion avec une pente inférieure à 1%, cette faible pente s'explique par le fait que l'ensemble du lac et son bassin d'alimentation se situent sur la plaine littorale.

d'écoulement rapides et se traduisent par des régimes hydrologiques d'un type torrentiel et de nombreuses crues éclairs. Dans ces conditions, la morphogénèse est forte et se trouve d'autant plus accentuée par la présence de phénomènes exceptionnels comme les cyclones. Les phénomènes érosifs sont particulièrement élevés et spectaculaires dans ces bassins d'alimentation ce qui se traduit par des comblements accélérés des dépressions. Les lacs étant des points de stockage de ces sédiments sont directement affectés par ces épisodes érosifs qui façonnent les formes lacustres et contribuent au comblement de la dépression.

Il faut cependant nuancer ces processus d'érosion selon les îles. Pour les îles les plus anciennes comme l'île Maurice, la topographie a été largement atténuée par l'érosion avec un point culminant à 828m (Piton de la Rivière noire). Les pentes sont donc plus douces induisant des précipitations et des régimes hydrologiques plus modérés. Les vitesses d'écoulement plus lentes réduisent les phénomènes érosifs et favorisent le maintien des paysages. Les impacts sur les plans d'eau sont alors moins marqués car l'érosion est moins active. Pour des îles plus jeunes comme l'île de La Réunion, la topographie est plus élevée avec un point culminant à 3070m (Piton des Neiges). Les pentes fortes couplées avec des précipitations soudaines et violentes favorisent des régimes hydrologiques irréguliers de type torrentiel. Ces régimes sont favorables à une érosion intense qui façonnent des paysages, au niveau des lacs, cette érosion des bassins d'alimentation favorisera le comblement rapide de certaines dépressions (**photo.15**) et l'apparition de formes lacustres d'accumulation. Cependant ces affirmations découlant d'observations de terrain nécessiterait la mise en place d'une étude sédimentologique pour d'établir avec précision les rythmes d'érosion des bassins d'alimentation ; on pourrait alors déterminer les vitesses de comblement des dépressions et estimer la durée de vie des plans d'eau naturels ou anthropiques.

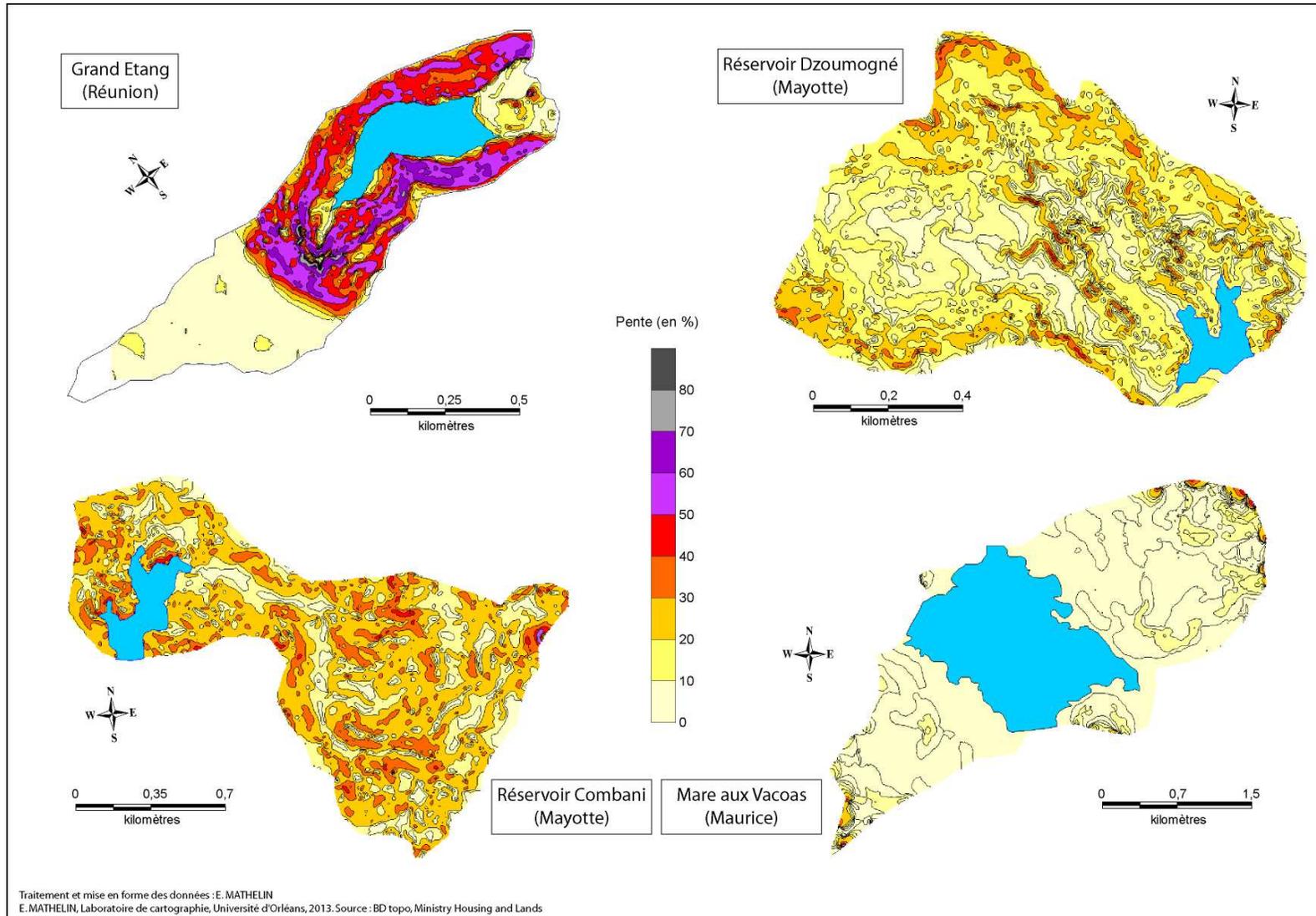


Figure 46 : Comparaison de la morphologie des bassins d'alimentation des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien



Photographie 15 : Le lac de barrage de Takamaka 2 en partie comblé

Les pentes assez marquées et les contrastes climatiques (altitude, effet de façade) dans un même espace insulaire favorisent la diversité des paysages au sein des bassins d'alimentation. Ces derniers s'établissent le plus souvent des parties intérieures vers la mer, découpant des segments entiers de l'île pour les plus étendus. Ils sont donc tout à fait représentatifs de la biodiversité des espaces insulaires. L'étagement de la végétation s'effectue sur des distances réduites pour les versants les plus pentus permettant le passage de savanes littorales à des forêts tropicales d'altitude type Tamarinaie en quelques kilomètres. Les zones les plus élevées et les zones de volcanisme actif sont des espaces essentiellement minéraux sur lesquelles une faible végétation de haute altitude (arbustes, lichens...) peut s'installer.

A cet étagement s'ajoutent les fortes pressions anthropiques présentes sur les littoraux et sur les premières pentes insulaires, ces pressions modifient largement ces écosystèmes qui reculent face à l'urbanisation dans les zones planes et se voient remplacés par des cultures comme la canne à sucre sur les pentes les plus accessibles. La modification du fonctionnement naturel de ces bassins d'alimentation fragiles perturbe les écoulements pouvant entraîner des catastrophes importantes. Ainsi en Juillet 2013, en pleine saison sèche, l'Etang Saint Paul à La Réunion a connu un important incendie¹⁶⁴ affectant la partie basse de son bassin d'alimentation. L'incendie a parcouru 75ha dont 65ha ont été totalement détruits. Ce sinistre d'origine inconnue a entraîné la disparition de nombreuses espèces endémiques et le déplacement d'autres. Cependant cette situation peut s'expliquer car cette partie du bassin d'alimentation, autrefois exploitée par les Hommes, a été classée en réserve naturelle en 2008. Toutes activités y devenant interdites, les paysages se sont progressivement fermés et les sols drainés par des canaux en amont ont favorisé l'apparition progressive d'une végétation assez sèche de type savane. Cette situation traduit donc l'abandon de

¹⁶⁴ L'info.re, 22/07/2013

certaines parties de ces zones humides et de leurs bassins d'alimentation et les dangers qui peuvent en découler à court et à moyen terme. La gestion de tels bassins d'alimentation, certes réduits mais aussi diversifiés et complexes impose une réflexion globale tenant compte tant des paramètres naturels qu'anthropiques.

La taille, la pente et l'occupation du sol des bassins d'alimentation sont tout autant de facteurs qui influencent la mise en place d'un réseau hydrographique. Ces bassins d'alimentation des lacs insulaires sont drainés par des réseaux bien moins étendus et complexes que ceux retrouvés en milieu continental. En effet ces réseaux hydrographiques sont largement moins structurés du fait de la proximité de la mer. Pour les lacs intérieurs, situés en tête de bassin, les affluents sont de rang 1 voire 2 (classification de Strahler)¹⁶⁵, à l'inverse, les lacs côtiers, situés proche des embouchures, se composent essentiellement d'affluents de rang supérieurs. Ces réseaux se caractérisent aussi par deux éléments fondamentaux avec la présence de cascades plus ou moins importantes liées aux ruptures de pentes mais aussi de ravines sèches, dont les écoulements n'apparaissent qu'en période humide ou lors d'épisodes pluvieux.

La structure géologique des îles, principalement volcanique avec des sols peu développés, favorise l'infiltration des eaux en profondeur dans les bassins d'alimentation en direction d'importantes nappes souterraines. La saturation de ces sols fissurés n'intervient donc qu'avec des épisodes pluvieux importants (pluies tropicales) déclenchant des écoulements soudains et abondants. Cette situation si particulière explique la rareté des réseaux péreens en milieu insulaire et l'intermittence de l'alimentation de certains lacs insulaires par les eaux de surface, le maintien en eau du lac étant alors assuré par les nappes souterraines comme pour l'Etang Saint Paul¹⁶⁶. Cependant la dimension pérenne des réseaux hydrographiques des bassins d'alimentation est à nuancer tout d'abord, d'une île à l'autre. En effet des îles plus anciennes comme l'île Maurice, datant de plus de 8 millions d'années¹⁶⁷, ont connu une érosion plus importante permettant le développement de sols complexes et limitant l'infiltration en profondeur. Les réseaux hydrographiques sont donc plus denses. Au contraire d'îles comme La Réunion dont l'histoire géologique est plus récente (6 millions d'années)¹⁶⁸, ce qui se retrouve dans des reliefs plus saillants et des sols moins structurés, favorisant les affleurements volcaniques fracturés. Les réseaux hydrographiques péreens restent plus rares au sein des bassins d'alimentation, comme le montre le quasi assèchement des cascades d'Annette, principaux affluents du Grand Etang de La Réunion durant la saison sèche. Cependant de

¹⁶⁵ Bravard.JP et Petit.F, 2000, p9-10

¹⁶⁶ TCO, 2005

¹⁶⁷ Atlas of Mauritius, 2007, p7

¹⁶⁸ Atlas de La Réunion, 2003, p20

nombreuses résurgences d'eaux souterraines sont constatées comme le prouve les sources observables au pied des remparts rocheux, lesquelles font souvent l'objet de dévotions religieuses. De plus, la situation de façade insulaire des bassins d'alimentation influence aussi les réseaux hydrographiques. L'opposition entre la côte au vent et sous le vent se traduit par un contraste en matière de densité de réseau hydrographique. Les réseaux situés sur la côte exposée aux alizés sont plus alimentés donc souvent plus pérennes grâce aux abats d'eau importants et réguliers, à la différence des réseaux situés sur la côte sous le vent, victimes d'un déficit de précipitations. A noter aussi l'influence des Hommes sur ces réseaux hydrographiques : le fonctionnement des réseaux hydrographiques au sein des bassins d'alimentation peut se trouver bouleversé par l'action humaine qui met en place des points de captage ou des retenues collinaires, réduisant, sans toujours respecter le cadre réglementaire, les débits des cours d'eau. Cette situation d'assèchement en aval des retenues collinaires est fréquente sur l'île Maurice en période de saison sèche où le remplissage d'eau douce des réservoirs est prioritaire sur l'écoulement en aval. Ce processus favorise l'assèchement des cours d'eau et peut mettre en danger, en cas de fortes pressions anthropiques, l'ensemble de l'hydrosystème.

Ces bassins d'alimentation des lacs insulaires présentent donc des caractéristiques spécifiques, de taille réduite (à comparer à leurs homologues continentaux), avec des pentes relativement fortes (supérieurs à 15%), une occupation des sols marquée par un étagement complexe de la végétation et une empreinte humaine forte, enfin des réseaux hydrographiques discontinus et peu développés. L'ensemble de ces éléments bien spécifiques influence en partie les cuvettes lacustres tant dans leur morphologie que dans leur rythme.

3.1.2. Les caractéristiques des cuvettes lacustres.

La cuvette lacustre correspond à la zone en eau du lac, elle est délimitée par le trait de cote. Cette zone en eau se décline tant en matière de superficie que de volumes. Ces dépressions abritent aussi des modèles typiques de la dynamique lacustre. Cependant ces cuvettes évoluent perpétuellement à la fois à court terme avec des variations saisonnières de la masse d'eau ou à plus long terme avec le comblement de la dépression (cycle de vie d'un lac). L'étude des cuvettes impose par conséquent d'en observer la morphologie globale, les modèles présents et ainsi que l'évolution de ces dépressions lacustres.

L'analyse de la morphologie de surface va nous permettre d'observer les superficies de ces cuvettes ainsi que leurs formes. Pour les lacs observés, la superficie moyenne des cuvettes

observées est de 132ha, ce qui se révèle largement inférieur à des grands lacs continentaux mais bien supérieure à des régions d'étangs. Au regard de cette moyenne, nous avons donc à faire à des lacs de superficies élevées dont l'emprise est d'autant plus marquée que nous nous situons sur des espaces fermés et étroits. Cependant, cette moyenne relativement élevée pour un espace insulaire révèle des disparités importantes car 13 des 19 principaux lacs mesurés ont une superficie inférieure à 20ha, ce qui correspond à des lacs de petite taille tandis que 6 lacs supérieurs à 20ha affichent des superficies pouvant atteindre 447ha pour l'Etang Saint Paul (19^{ème} étendue d'eau naturelle la plus vaste de France) ou 298ha pour le réservoir des Midlands à Maurice. Des différences nettes apparaissent entre les structures naturelles et anthropiques. En effet, la majorité des lacs d'origine naturelle sont inférieurs à 20ha hormis le Grand Etang et l'Etang Saint Paul dont les surfaces en eau sont à nuancer selon les saisons. Les lacs d'origine anthropique constituent les entités les plus vastes atteignant respectivement 560ha pour la Mare aux Vacoas et 298ha pour les Midlands. Cette superficie couplée à un volume important correspond à la fonction de stockage pour laquelle ils ont été créés.

Les formes de cuvettes lacustres sont le reflet de leur situation, on distingue 3 formes caractéristiques de ces milieux insulaires : des formes alvéolaires, des formes allongées et des formes circulaires. Les formes alvéolaires correspondent aux lacs d'intérieur principalement comme les réservoirs de Combani ou Dzoumogné à Mayotte ou même la mare aux Vacoas ou le réservoir du Piton du Milieu à Maurice. Ces lacs formés dans des dépressions obturées naturellement ou d'une manière anthropique ont un trait de cote particulièrement étendu et des berges quelquefois difficiles d'accès. Les alvéoles créent ainsi des zones d'abri favorables au développement de certains écosystèmes. Les cuvettes de forme allongée correspondent à des lacs formés au sein de vallées comme le Grand Etang à La Réunion ou à des lacs côtiers comme l'Etang de Bois Rouge, l'Etang Saint Paul ou l'Etang du Gol toujours à La Réunion. Ces lacs sont des formes élargies du cours d'eau dont l'écoulement s'est vu bloqué par un élément extérieur comme une coulée volcanique ou un cordon littoral. Le trait de cote de ces lacs est donc largement plus réduit et l'ensemble des berges du lac reste visible. Dans le cas de vallées obturées, les berges sont particulièrement étroites et abruptes, limitant les possibilités d'aménagement. Pour les lacs côtiers, la forme linéaire correspond à la zone de contact entre la mer et l'île, le relief littoral est plus adouci favorisant les aménagements, cependant de telles conditions favorisent des débordements de la cuvette lacustre en cas de fermeture du cordon littoral (liée à une mer forte ou à une tempête...). Enfin, les cuvettes lacustres circulaires constituent un cas tout à fait particulier des lacs insulaires d'origine volcanique. Elles correspondent à des lacs de cratère dont le cœur recueille les eaux de pluies jusqu'à un comblement prochain. Le lac Dziani à Mayotte est un parfait exemple, la forme

annulaire de la cuvette dont la superficie est de 20 ha occupe l'intérieur du cône volcanique (**photo.16**). Ces types de lacs s'avèrent particulièrement profonds, à l'instar du Lac Pavin dans le Massif Central (**photo.17**). Les berges sont particulièrement abruptes et dangereuses, limitant la mise en valeur de ces lacs. Leur caractère volcanique en fait de surcroît des territoires à risque. Le lac de Grand Bassin, situé sur l'île Maurice constitue un autre exemple mais il n'a pas été retenu dans l'étude du fait de sa superficie réduite.

Après avoir analysé les morphologies de surface de ces cuvettes, l'analyse des volumes et des reliefs lacustres va nous permettre de mieux en appréhender la structure interne. La forme des cuvettes lacustres conditionne leur volume. L'étude des volumes lacustres est souvent délicate du fait des nombreuses contraintes techniques (accès aux berges pour les lacs intérieurs, interdiction de navigation, manque d'outils...) limitant les possibilités de réaliser des bathymétries de ces cuvettes, cette question a été d'autant plus forte pour les lacs d'origine naturelle où les contraintes sont plus marquées. Il n'a donc pas été possible de recenser tous les volumes lacustres mais nous avons pu collecter de précieuses données pour les lacs d'origine anthropique dont les volumes connaissent des suivis précis (**tableau.7**). A partir de la base de données collectées, nous constatons que la grande majorité des les volumes lacustres observés sont inférieurs à 5Mm³, soit 9 lacs sur 14 auxquels il faut rajouter le Grand Etang à La Réunion (**fig.47**) dont les variations importantes de niveau chaque année le placent en dessous de la barre des 5Mm³ sur une grande partie de son cycle annuel. Certains lacs affichent cependant des volumes importants comme la Mare aux Vacoas (25,89Mm³) ou les Midlands (25,50Mm³) sur l'île Maurice, mais de tels volumes ne correspondent pas à des processus naturels. Rappelons que la Mare aux Vacoas est un ancien lac de cratère dont le niveau a été largement rehaussé par la création de digues créant ainsi un ensemble alvéolaire important alors que le lac-réservoir des Midlands est pour sa part est un réservoir créé ex-nihilo. Ces grands aménagements hydrauliques sont possibles dans le cadre d'îles volcaniques anciennes dont les reliefs intérieurs particulièrement érodés permettent d'obtenir des étendues d'eau plus vastes. Au contraire, les îles volcaniques jeunes soumises à une activité sismique comme La Réunion ou les îles ayant conservées des reliefs intérieurs découpés comme Mayotte ne peuvent accueillir de tels aménagements et les volumes des réservoirs mis en place sont plus réduits comme le montre les capacités de Combani (1,5Mm³) et de Dzoumogné (2,5Mm³). Plus globalement, ces volumes lacustres s'avèrent relativement réduits au regard des surfaces en eau, ce qui s'explique par des profondeurs n'excédant pas 20m pour les lacs-réservoirs observés. Pour les lacs d'origine naturelle dont les profondeurs maximales n'ont pu être mesurées avec précision, elles semblent aussi inférieures aussi à 20m, sauf pour quelques cas de lacs de cratère comme Grand Bassin sur l'île Maurice, dont la profondeur est inconnue.



Photographie 16 : Le lac Dziani (Mayotte)



Photographie 17 : Le lac Pavin (Auvergne)

Tableau 7 : Caractéristiques principales des cuvettes lacustres observées

Nom zone humide	Localisation	Longueur max (km)	Largeur max (km)	Trait de cote (km)	Superficie (km ²)	Capacité (Mm ³)
Grand Etang	Réunion	0,74	0,41	2,86	0,4	7,00
Etang Saint Paul	Réunion	0,93	0,11	4,02	4,47	NE
Etang du Gol	Réunion	1,05	0,19	5,26	0,41	NE
Lac Dziané	Mayotte	0,67	0,39	1,8	0,2	NE
Réservoir Combani	Mayotte	0,84	0,5	3,58	0,23	1,50
Réservoir Dzoumogné	Mayotte	0,66	0,6	3,4	0,22	2,00
Mare aux Vacoas	Maurice	3,04	1,69	13,15	5,6	25,89
Midlands	Maurice	1,69	2,28	13,63	2,98	25,50
Grand Bassin	Maurice	0,44	0,25	1,19	0,07	NE

NE : Données non évaluées

L'observation des modelés lacustres¹⁶⁹ constitue aussi un atout de la caractérisation de ces lacs insulaires. Les observations de terrain couplées à la réalisation de la bathymétrie du Grand Etang¹⁷⁰ vont servir de base à cette analyse (**fig.48**). Nous allons décrire les divers modelés lacustres rencontrés en respectant le sens du continuum fluvial.

Les lacs observés présentent pour la plupart des deltas structurés majoritairement digités avec de larges plaines deltaïques du fait de l'érosion en amont. La présence de deltas aussi marqués traduit la domination du bassin d'alimentation sur le lac¹⁷¹. Dans le prolongement de ces deltas, lorsque

¹⁶⁹ Touchart.L, 2000, p139-162

¹⁷⁰ Mathelin.E, 2007

¹⁷¹ Touchart.L, 2000, p151

l'influence des affluents se réduit, une zone de contact apparaît avec le talus deltaïque partiellement émergé une partie de l'année.

Dans la continuité de cette zone deltaïque s'installe la plaine deltaïque, rarement observable dans sa totalité. Les importantes variations de niveau de lacs naturels, comme le Grand Etang, nous ont permis de visualiser une partie de cette plaine durant la période basses eaux. Dans le cas du Grand Etang, l'accumulation de sédiments durant plusieurs milliers d'années a permis de façonner cette plaine et de faire disparaître en partie les variations de relief dues à la vallée encaissée. Cette plaine lacustre est délimitée par diverses formes littorales traduisant la dynamique lacustre.

Parmi les formes littorales, on distingue les modelés d'érosion et d'accumulation. Les modelés d'érosion sont moins marqués que sur un relief maritime où l'action continue des vagues couplées aux marées découpe les divers reliefs. Dans le cas de nos lacs insulaires, l'action du vent (fetch)¹⁷² voire des activités anthropiques (ski nautique) favorise la création de vagues qui en contact avec le littoral donnent naissance à des micros falaises. Le recul progressif des falaises laisse apparaître les racines des formations végétales présentes sur le littoral (**photo.18**). Les modelés d'accumulation sont aussi relativement nombreux avec la présence de plages majoritairement adossées mais aussi de baies d'accumulation (**photo.19**) dans lesquelles les éléments détritiques sont largement présents. Sur ces dépôts détritiques s'installent facilement certaines espèces végétales envahissantes comme les Jacinthes d'eau qui colonisent progressivement l'Etang de Saint Paul et provoquent la fermeture de la masse d'eau.

Pour terminer, la présence de modelés d'exutoire naturel reste relativement rare car nombre de ces lacs ont des fonctionnements endoréiques. Les principaux exutoires observés correspondent à ceux des lacs littoraux avec des cordons composés de galets (amenés par l'action de la mer) qui obturent le chenal d'écoulement.

Pour résumer, on constate la présence de modelés lacustres classiques mais une domination des modelés d'accumulation sur ceux d'érosion, preuve de la morphogenèse active des bassins d'alimentation mais aussi de la capacité de rétention des sédiments de ces lacs. L'observation de l'évolution de ces modelés va nous permettre de mieux appréhender les rythmes de la dynamique lacustre.

¹⁷² Papon.P, 2007

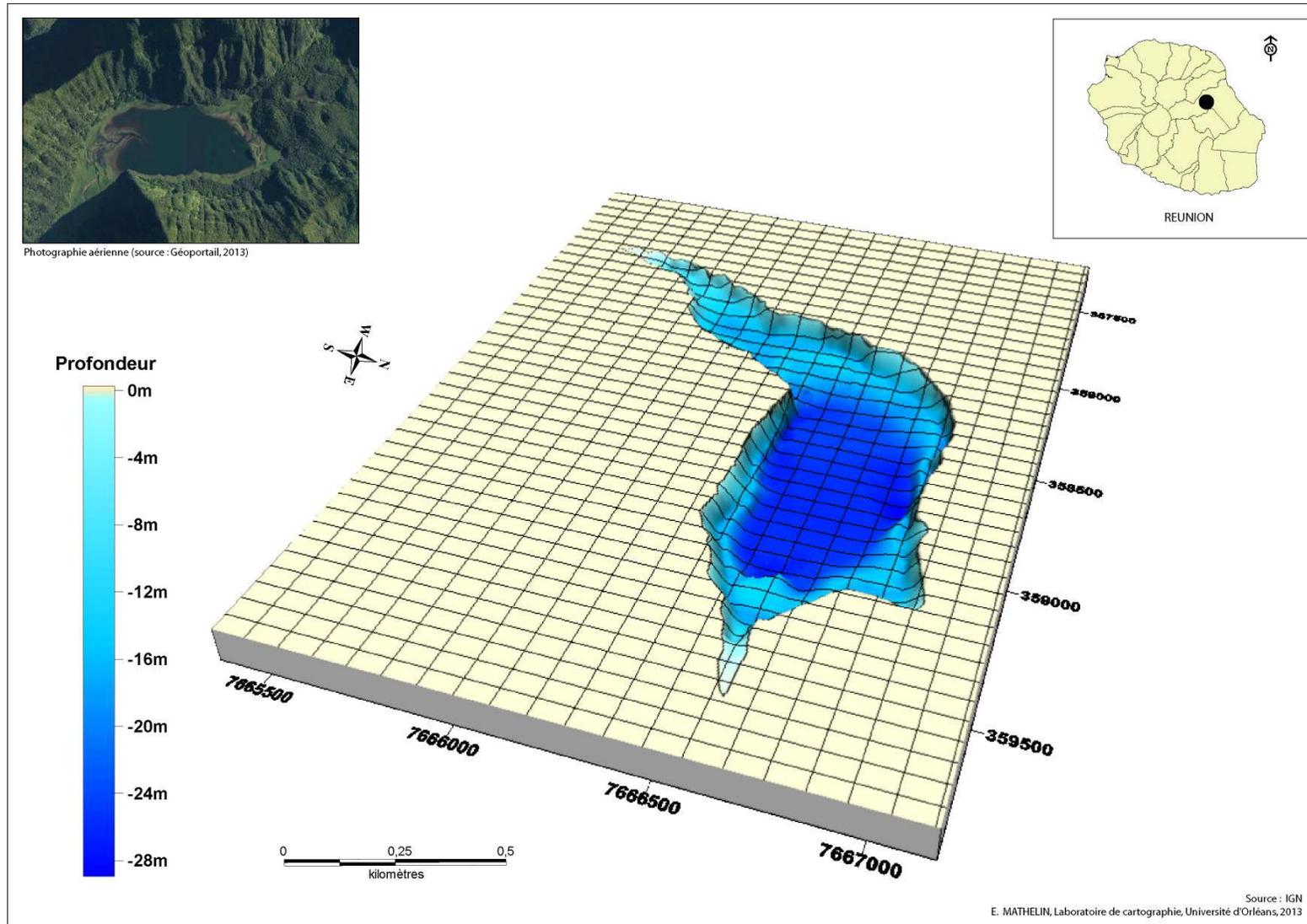


Figure 47 : Modélisation de la cuvette lacustre du Grand Etang (Réunion)

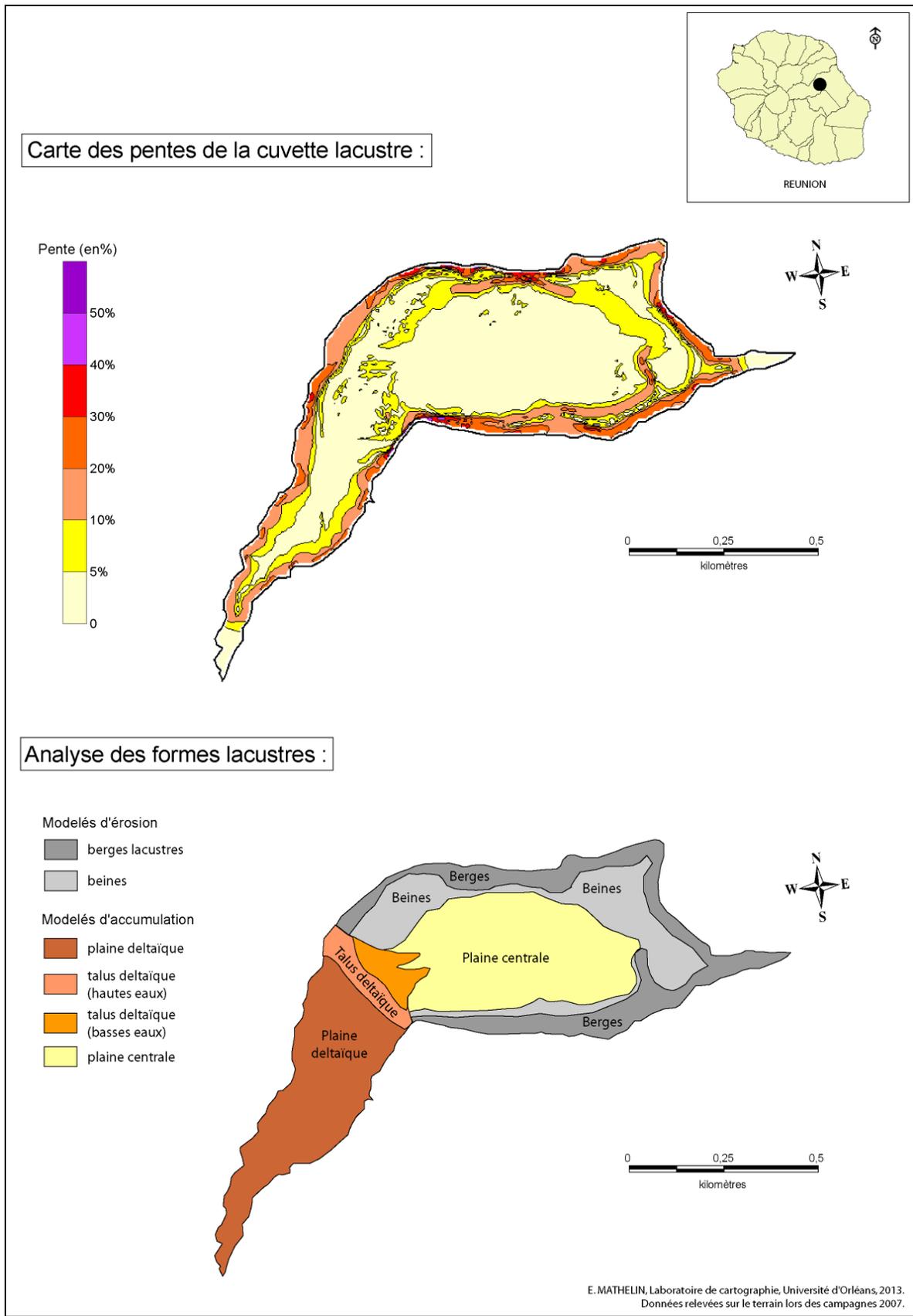


Figure 48 : Les modelés lacustres du Grand Etang



Photographie 18 : Erosion des berges de l'Etang Saint Paul (Réunion)



Photographie 19 : Un modelé d'accumulation lacustre (Mare aux Vacoas à Maurice)

Le dernier aspect abordé correspond à l'évolution de ces cuvettes lacustres. Pour appréhender cet aspect nous utiliserons l'observation de l'évolution des modelés lacustres pour caractériser plus globalement celui de la cuvette. Les évolutions des lacs insulaires¹⁷³ se traduisent globalement par un atterrissement progressif menant à un comblement total du fait du rôle de piège à sédiments de ces entités hydrologiques. Cette accumulation s'effectue sur plusieurs milliers d'années pour les lacs naturels qui ne peuvent évacuer ces sédiments alors que pour les lacs d'origine anthropique, les vidanges ou opérations de curage régulières permettent d'évacuer une partie des sédiments et de ralentir le processus de comblement. D'une manière générale, il est possible de dissocier ces rythmes d'évolution en deux ensembles.

Les évolutions plus progressives correspondent à l'érosion du bassin d'alimentation et à l'apport de sédiments dans la cuvette lacustre par les divers affluents. L'accumulation de sédiments favorise le remplissage de la cuvette lacustre avec un lissage progressif des reliefs lacustres immergés. Les zones les moins profondes sont les plus affectées par ce comblement, particulièrement les parties deltaïques où sont déposées les sédiments minéraux charriés par les affluents et dont le changement de vitesse d'écoulement favorise le dépôt. De même la présence d'espèces végétales envahissantes qui occupent les tranches d'eau les plus faibles favorisent l'accumulation de matières organiques et réduit ainsi la profondeur de ces zones. Le comblement de la masse d'eau s'effectue donc des zones les moins profondes vers les plus profondes, provoquant par la même, une réduction de superficie et de volume. Les vitesses de comblement varient selon les apports de matières détritiques et organiques. Bien que nous n'ayons pu mesurer précisément le comblement des lacs insulaires tropicaux, les lacs observés présentent des situations de comblement plus ou moins avancées. Ainsi l'Etang Saint Paul à La Réunion (**fig.49**) est caractéristique de ce phénomène avec une cuvette

¹⁷³ Fischesser.B, 2007

lacustre de 447 ha mais dont la grande partie se trouve envahie par des espèces végétales, ramenant la surface en eau à 11 ha. Ce comblement progressif de la cuvette lacustre s'inscrit dans le cycle de vie d'un lac naturel.

Touefois les modelés lacustres connaissent parfois des évolutions plus soudaines et plus importantes. L'analyse de l'évolution de certains modelés lacustres traduit tout à fait cette logique, ainsi le delta du Grand Etang de La Réunion est marqué par une évolution régulière à laquelle s'ajoute des épisodes de morphogenèse plus intense. Suite aux campagnes de mesure réalisées entre plusieurs saisons des pluies, nous constatons que la surface de la plaine deltaïque s'est étendue. L'accroissement relativement important de ce modelé s'explique en partie par la présence d'un épisode exceptionnel (cyclone Gamède) durant la saison des pluies 2007 qui a constitué une phase de morphogenèse de grande ampleur. A noter que ces situations d'atterrissement peuvent se voir modifier dans le cadre des lacs-résevoirs. En effet pour les lacs d'origine anthropique, des opérations de curage et de baisse de niveau permettent de gérer cette problématique et perturbe largement le cycle de vie du lac. Il est à regretter que nous n'ayons pu assister à des opérations de curage durant la période d'observation pour mesurer l'impact de ces curages sur les réservoirs. Cet absence de curage tant durant la période d'observation que de mesure (plus de 10ans pour certains réservoirs) traduit le fait que les curages restent exceptionnels malgré une accumulation importante de sédiments. La vidange de certains réservoirs laisse donc craindre des remises en mouvement importantes de sédiments pouvant engendrer des pollutions.

Le cycle de vie de ces lacs est donc marqué par des processus d'accumulation plus lents auxquels viennent s'ajouter des épisodes exceptionnels qui accentuent les rythmes d'atterrissement. Ce stockage continu de sédiments présente un risque certain pour les réservoirs n'effectuant pas de curages réguliers.

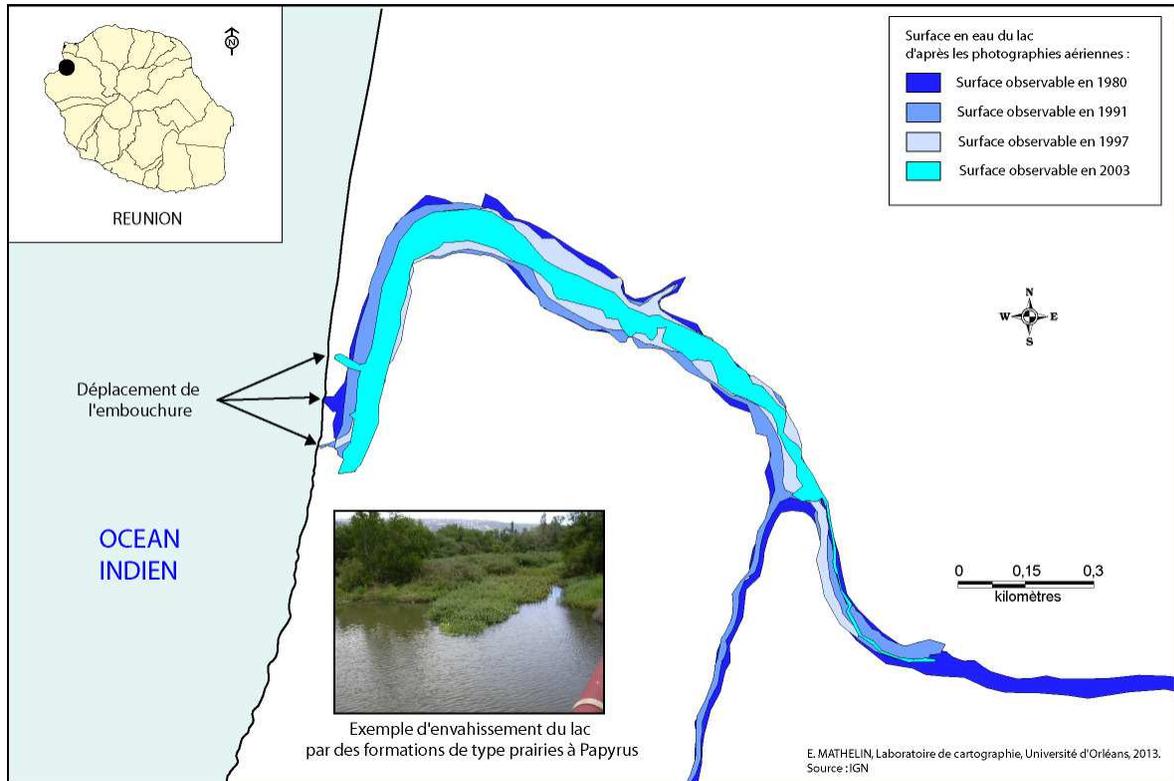


Figure 49 : Evolution de la surface lacustre de l'Etang Saint Paul (Réunion)

3.1.3. Les caractéristiques des émissaires.

Les émissaires correspondent aux cours d'eau sortant du lac, ils caractérisent le passage du lac au cours d'eau. La forme des émissaires lacustres conditionne en partie l'influence du plan d'eau sur le réseau hydrographique aval. Les émissaires lacustres présentent des formes très variables selon la nature du lac et sa situation.

Pour les lacs d'origine naturelle, l'émissaire correspond à un point plus bas au sein de la contre-pente permettant l'évacuation des eaux. Il fonctionne ainsi comme un « trop-plein » naturel fixe capable d'absorber aussi des volumes d'eau plus importants liés à des crues. Dans le cadre des lacs naturels observés, la présence d'émissaires naturels s'est avérée rare car l'essentiel des lacs intérieurs (majoritairement des lacs de cratère) ont un fonctionnement endoréique. Les seuls émissaires naturels observés (**photo.20**), l'ont été sur les lacs côtiers. Ces émissaires sont donc extrêmement réduits en taille (quelques dizaines de mètres) et soumis à des influences croisées (lacs, mers). Dans ces conditions, il est difficile de mesurer l'impact du lac sur son émissaire. Nous allons malgré tout proposer une analyse de ces émissaires naturels en différenciant les lacs côtiers des lacs intérieurs.

Pour les lacs côtiers, les influences lacustres et maritimes se trouvent donc mêlées. Le cordon littoral séparant le lac de la mer peut se rompre ou être rompu par l'Homme à tout moment, provoquant une vidange partielle et subite du lac. La fermeture du cordon littoral suite au processus des marées va permettre la formation d'un nouveau cordon et certainement d'un nouvel émissaire. Cette situation s'est déjà provoquée pour les plans d'eau du Gol et de Saint Paul à La Réunion lors de vidanges soudaines ou de l'ouverture prématurée du cordon par des engins de travaux publics face au débordement du lac lors d'importants épisodes pluvieux.



Photographie 20 : L'émissaire naturel de l'Etang Saint Paul (Réunion)

Ensuite dans le cadre des lacs intérieurs, où les émissaires sont absents, favorisant un réseau endoréique, le lac fonctionne comme une cuvette fermée. De telles situations s'expliquent par le fait que le lac se situe dans une dépression close (type cratère ou vallée obturée) empêchant la formation de tout émissaire, ce qui est le cas pour le lac Dziani à Mayotte ou le Grand Etang à La Réunion. La principale problématique de cette situation est l'évacuation des volumes d'eau accumulés, ces derniers profitent le plus souvent d'un substrat favorable et faillé pour s'infiltrer avant de réapparaître vers d'autres points bas sous d'autres formes (sources, résurgences...). Le suivi de telles infiltrations est délicat et demande un marquage isotopique des eaux pour mettre en évidence leur cheminement. Dans le cadre du Grand Etang de La Réunion¹⁷⁴, plusieurs millions de mètres cubes disparaissent ainsi tous les ans alimentant certainement la rivière des Marsouins située en contrebas.

Au contraire des lacs naturels, les lacs d'origine anthropique présentent tous des émissaires mais dont leur fonctionnement est fortement artificialisé. La digue constituant la contre-pente dispose de divers aménagements permettant d'évacuer l'eau accumulée dans le plan d'eau (**fig.50**). Ainsi la structure des réservoirs se rapproche de celle observable dans les grandes régions d'étangs

¹⁷⁴ Banton.O, 1985

françaises. La digue dispose en son point le plus bas d'un exutoire correspondant au point de vidange. Ce canal d'évacuation des eaux de fond est obturé par un mécanisme de mobile permettant la vidange partielle ou totale du réservoir. Les différents types de mécanismes de vidange influencent directement les rythmes de l'émissaire.

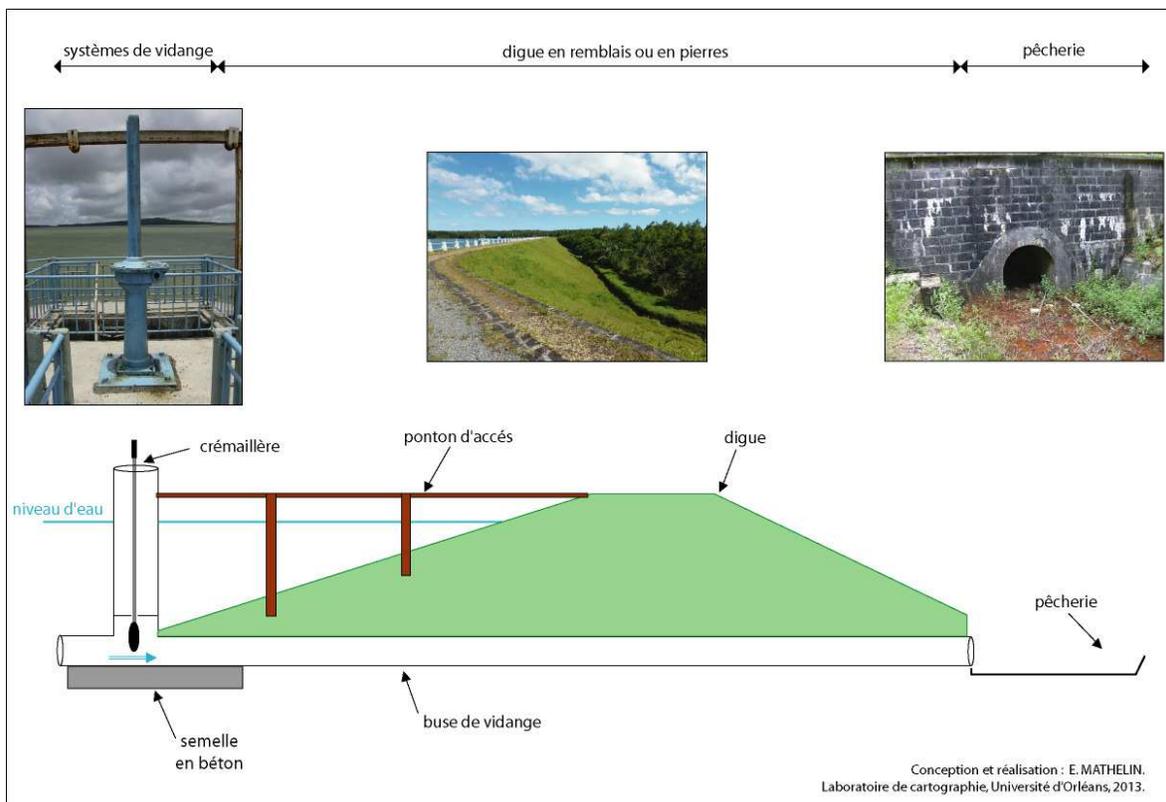


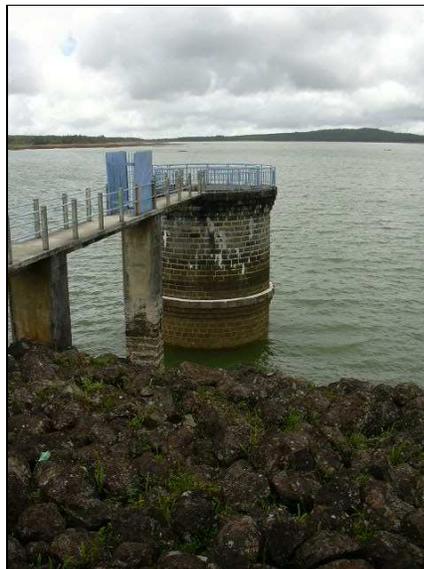
Figure 50 : Structure d'un lac- réservoir, l'exemple de la Mare aux Vacoas (Maurice)

Il existe 2 grands types de mécanismes de vidange. Le plus répandu est le système dit de la « pelle » ou vanne de fond qui correspond aux mécanismes les plus anciens avec un canal obturé par un panneau en bois ou en métal (**photo.21**). Ces systèmes classiques ont été repris et modernisés sur les réservoirs les plus modernes comme les Midlands à Maurice. L'ouverture s'effectue manuellement par un système de crémaillère. Un tel mécanisme est largement répandu du fait de sa facilité à la mise en œuvre et leur solidité. Cependant il existe aussi de nombreux inconvénients : dans un premier temps l'absence d'écoulement d'eau lorsque le mécanisme est fermé entraînant des assèchements de l'émissaire, dans un second temps l'obturation fréquente du canal par accumulation de sédiments, et enfin l'obligation de vidange par le fond entraînant un transfert important de sédiments en aval. Le second mécanisme rencontré est celui dit du « moine », il correspond à une colonne d'eau séparée en deux par des parois mobiles (**photo.22**). Le retrait des séparations permet de réguler le niveau et de limiter les évacuations des eaux de fond. Il dispose de

l'avantage énorme de maintenir un écoulement en aval et influence dans une moindre mesure l'émissaire. Ce système disposant de prises d'eau complémentaires aux prises de fond, il permet un brassage des eaux. Le mécanisme de moine peut aussi être utilisé comme déversoir de surface mais si cela n'est pas sa fonction première. L'inconvénient majeur d'un tel dispositif réside dans sa fragilité, avec un risque important de rupture des parois de séparation, obligeant le cas échéant à vidanger tout le plan d'eau.



Photographie 21 : Exemple de pelle de vidange
Cliché Mathelin, 2011



Photographie 22 : Exemple d'un système de moine
Cliché Mathelin, 2011

Ces mécanismes de vidange sont complétés par des déversoirs de surface (dans le cas des vannes de fond) adaptés à la taille du réservoir et des déversoirs de crues, à écoulement exceptionnel dont le gabarit dépend du bassin d'alimentation (**photo.23**). Ces déversoirs de surface connaissent des rythmes d'écoulement irréguliers sur l'année. En effet, en période de basses eaux (niveau du déversoir de surface n'étant pas atteint), il n'y a pratiquement pas d'écoulement. Dans ces configurations, seule une dérivation permet le maintien d'un écoulement en aval. Dans le cadre d'un mécanisme de type moine, ce type de dispositif connaît un écoulement en période de hautes eaux ou de crue. On constate ainsi que l'ensemble de ces aménagements influence fortement le fonctionnement de l'émissaire en aval, tant en matière quantitative que qualitative.



Photographie 23 : Déversoir de surface et de crue du réservoir des Midlands (Maurice)

Cliché Mathelin, 2013

Les lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien, d'origine naturelle ou anthropique, influencent leurs émissaires lorsque ceux là existent. Une réflexion sur les interactions entre le lac et son aval sera envisagée dans les parties suivantes.

Chapitre 3.2. Analyse des comportements hydrologiques des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.

Après avoir décrit la structure des limnosystèmes insulaires et envisager leurs particularismes, nous allons tenter dans cette partie d'analyser les comportements hydrologiques lacustres tant dans leur dimension temporelle que spatiale. La compréhension de ces rythmes hydrologiques va nous permettre de schématiser les comportements afin de réfléchir à des logiques de gestion.

3.2.1. Echelles d'analyses temporelles.

3.2.1.1. Echelle interannuelle.

L'observation des cycles lacustres interannuels permet de comprendre les rythmes de ces lacs sur un temps plus long. Les données interannuelles se basent sur la comparaison des cycles annuels, elles dépendent essentiellement des dispositifs de suivi mis en place dans les plans d'eau. L'examen de ces cycles se base sur le niveau et le volume des lacs, les variations de ces derniers conditionnent l'ensemble de la vie du lac et reflètent les épisodes marquant tant du point de vue morphologique que biologique. La présence de sondes enregistreuses établit des données quotidiennes voire horaires pour les suivis les plus précis. Les bases de données les plus complètes datent de 1994 pour les plans d'eau les plus suivis comme l'Etang Saint Paul¹⁷⁵ alors que les bases de données sont plus réduites pour des réservoirs comme Combani et Dzoumogné¹⁷⁶ dont la création est récente (années 2000). L'analyse de ces nombreuses données va aboutir à la réalisation de synthèses et de comparer les différents rythmes lacustres entre eux. Cependant ces données de niveau lacustre doivent être complétées par des données climatiques qui permettent d'évaluer les volumes d'eau entrant dans les bassins d'alimentation et de comprendre ainsi les variations de niveau et les réactions du lac tout au long de l'année. Ces données climatiques sont souvent volumineuses du fait de l'ancienneté de certaines stations météorologiques¹⁷⁷. De plus pour les bassins d'alimentation les plus étendus, l'existence de plusieurs stations permet de mettre en évidence les variations qui peuvent se révéler importantes dans les espaces montagneux.

¹⁷⁵ Données de l'Office de l'eau de La Réunion

¹⁷⁶ Données de la DAF de Mayotte

¹⁷⁷ Données issues de MétéoFrance

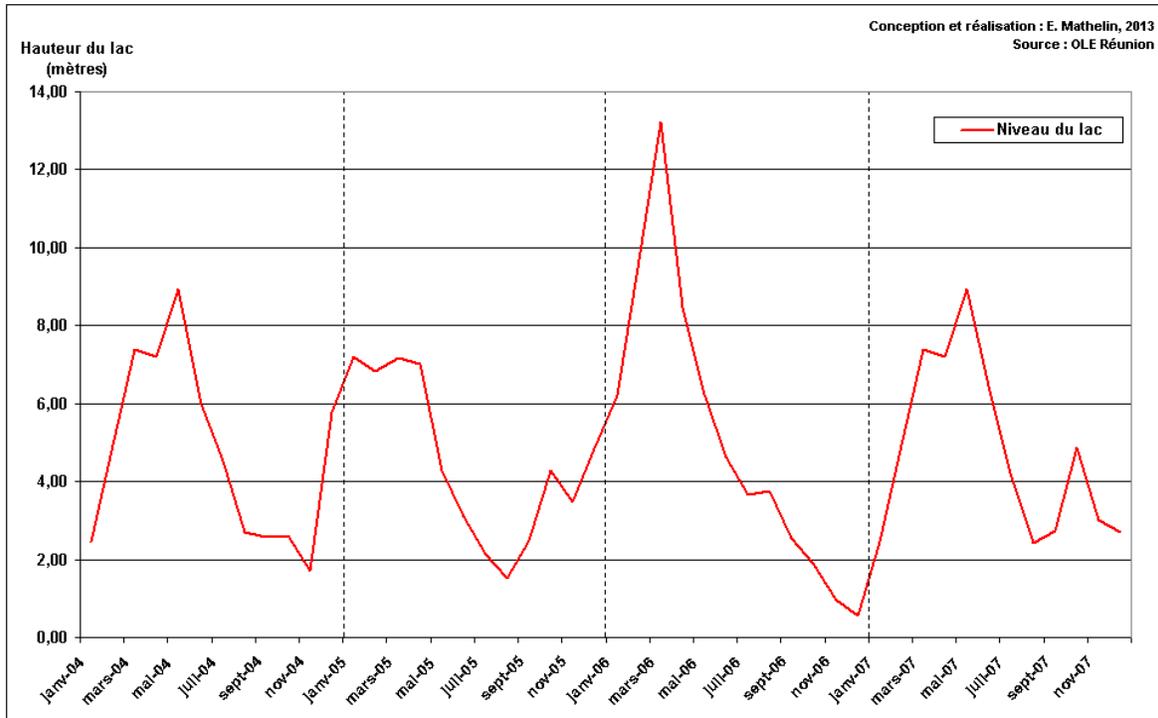


Figure 51 : Grand Etang (Réunion), suivi moyen mensuel du niveau du lac (2004-2007)

L'observation des cycles annuels basée sur les moyennes mensuelles de divers lacs permet de déterminer un premier aspect de ces comportements lacustres. En effet les moyennes annuelles des niveaux lacustres laissent apparaître des disparités relativement importantes entre les années les plus faibles et les années les plus fortes. Ainsi le Grand Etang à La Réunion (**fig.51**) présente en 2009 un niveau moyen de 3,61m de moyenne annuelle alors que ce même niveau moyen est de 6,06m en 2008, ce qui représente près du double. Les mêmes observations ont été faites pour l'Etang Saint Paul sur cette période d'étude. De tels écarts d'une année à l'autre s'expliquent en partie par la présence de saisons des pluies souvent marquées avec le passage de plusieurs dépressions tropicales engendrant d'abondantes précipitations. Ainsi l'année 2007 avec le passage du cyclone Gamède s'avère une année où les moyennes ont été exceptionnelles pour l'ensemble des plans d'eau affectés par cet épisode climatique. Par exemple, cette année 2007 constitue la période où l'Etang Saint Paul (**fig.52**) a connu son niveau moyen de remplissage le plus élevé de la période d'étude. A noter que ces écarts se retrouvent dans une moindre mesure pour les réservoirs car les mécanismes de régulation du niveau des réservoirs permettent de niveler les écarts d'une année sur l'autre.

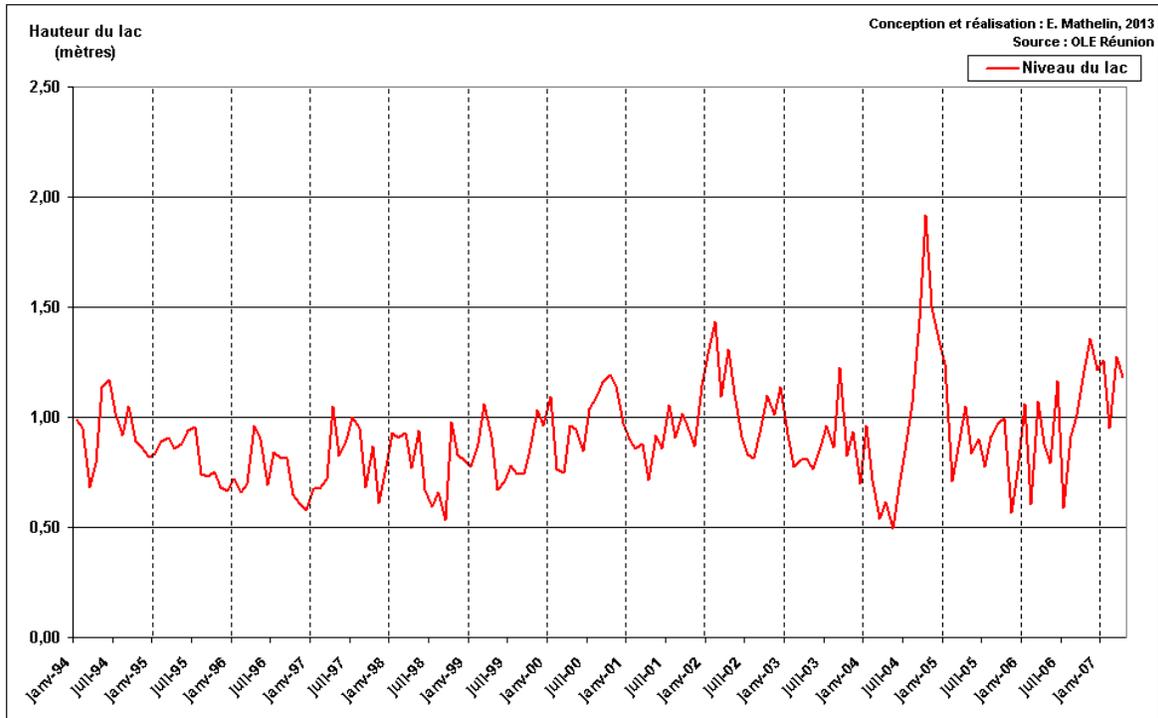


Figure 52 : Etang Saint Paul (Réunion), suivi moyen mensuel du niveau du lac (1994-2007)

L'analyse moyennes mensuelles sur plusieurs années laissent aussi apparaître des comportements spécifiques avec une saisonnalité qui se traduit par des périodes de hautes eaux et des périodes de basses eaux. Les périodes de hautes eaux correspondent aux mois où le lac atteint son niveau maximum dans l'année tandis que les basses eaux correspondent aux mois où les niveaux sont les bas. Dans la majorité des cas observés, la période des hautes eaux (mars-avril) correspond à la fin de la saison des pluies, cette dernière permettant le remplissage des lacs. Cette situation est d'autant mieux observable dans lacs-réservoirs où les cotes de remplissage atteignent leur maximum dès avril. La période des basses eaux pour sa part correspond à la fin de la saison sèche et au début de la saison des pluies (novembre-décembre). En effet la saison sèche et les besoins en prélèvements ont fait baisser les niveaux des lacs. Les premières pluies, souvent peu abondantes en décembre ne sont pas suffisantes pour annihiler cette tendance. Au sein de ces observations générales pour la zone d'étude, quelques nuances sont à apporter. La latitude influence les climats avec des saisons sèches plus marquées au nord (Mayotte) qu'au sud (Réunion-Maurice) de la zone, malgré cela les cycles lacustres restent similaires, certainement sous l'action de nappes phréatiques qui assurent le soutien d'étiage. Le rôle de ces nappes est d'autant plus importante que pour certains lacs côtiers caril peut amener à une inversion des cycles. En effet sur l'ensemble des lacs côtiers observés (Etang de Saint Paul, Etang de Bois rouge, Etang du Gol), les périodes de basses eaux correspondent à la fin de saison des pluies (mars-avril) alors que les saisons de hautes eaux correspondent aux mois les plus secs (juin-juillet-août). Une telle situation trouve son origine

dans l'influence des nappes souterraines, très abondantes dans ces étroites plaines alluviales, ces nappes influencent donc les rythmes lacustres. L'influence des nappes existe aussi dans les lacs intérieurs mais y reste nettement moins marquée.

L'analyse interannuelle nous permet donc de mettre en avant l'existence de cycles lacustres spécifiques, principalement dominés par un climat tropical soumis à des alizés. Cependant l'amplitude de ces cycles est variable d'une année à l'autre, ce qui permet de mettre en avant leur irrégularité.

3.2.1.2. Echelle annuelle.

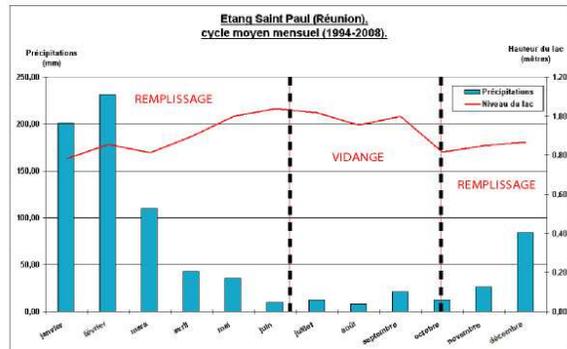
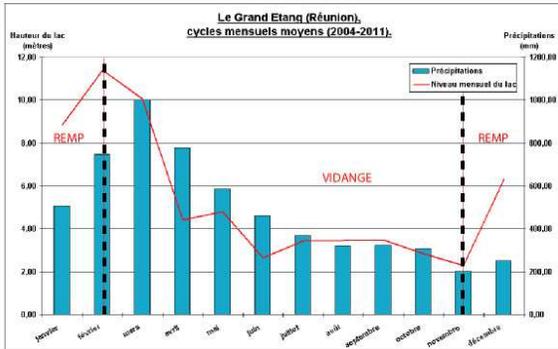
A l'échelle annuelle, les lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien se caractérisent comme vu précédemment par une forte saisonnalité se traduisant par des marnages importants pouvant aller de quelques décimètres comme pour les plans d'eau côtiers (Etang du Gol ou Etang Saint Paul) à plusieurs mètres pour les lacs intérieurs et réservoirs (Grand Etang ou le réservoir de Combani). Le marnage constitue donc une composante fondamentale des cycles annuels, influençant les écosystèmes et les modes de gestion. Cette caractéristique, présente aussi dans les lacs tropicaux sous climat à saisons alternées et dans les lacs de montagne¹⁷⁸, se trouve accentuée par le contexte de stress hydrique présent en milieu insulaire qui impose aux sociétés de prélever dans les différentes masses d'eau douce pour satisfaire leurs besoins. L'origine de ce marnage est donc à la fois naturelle (déficit de précipitations, évaporation, infiltration dans les nappes souterraines..) mais aussi d'origine anthropique (pompages dans le bassin d'alimentation, prélèvement pour la consommation domestique ou des usages agricoles...). Ces variations correspondent à des volumes importants pour ces lacs. Ainsi le marnage moyen annuel du réservoir de Combani de Mayotte soit $2,48\text{m}^{179}$ représente une variation de surface de 4,4 hectares et de volume de 559 113 mètres cube soit 1/6 de la superficie totale et 1/3 de sa capacité totale. Les mêmes observations sont réalisables pour le Grand Etang à La Réunion où le marnage moyen annuel atteint $5,76\text{m}^{180}$, ce qui représente une variation de 14,4 hectares et 3,8 millions de mètres cubes.

¹⁷⁸ Touchart.L, 2002, p281-288

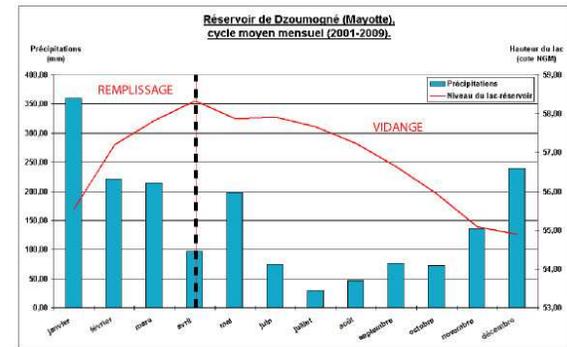
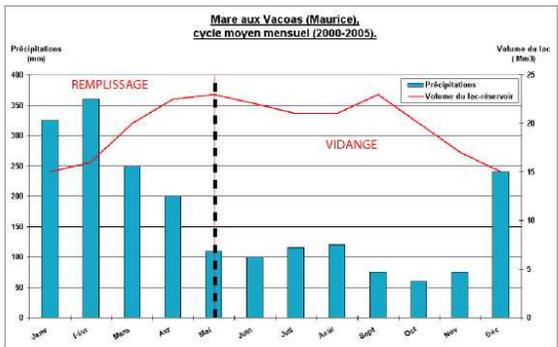
¹⁷⁹ Source : DAF de Mayotte

¹⁸⁰ Source OLE Réunion

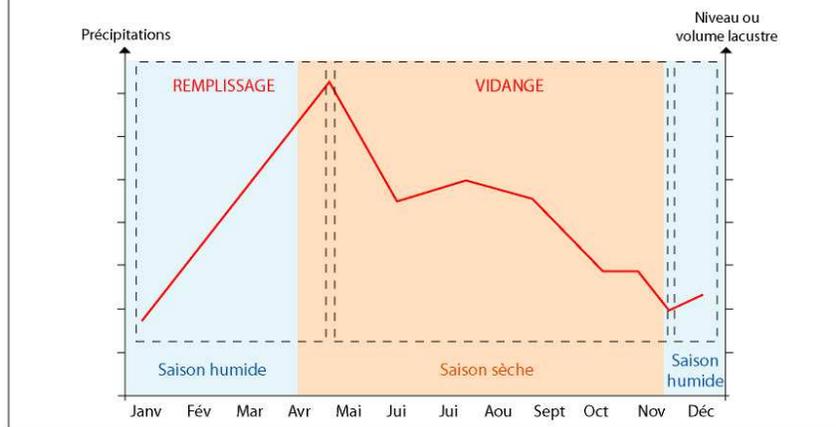
Lacs d'origine naturelle :



Lacs d'origine anthropique :



Proposition de schématisation des cycles lacustres



Conception et réalisation : E. MATHÉLIN,
Laboratoire de cartographie, Université d'Orléans, 2013.
Source : MétéoFrance, DAF Mayotte, OLE Réunion, CWA

Figure 53 : Schématisation des cycles lacustres dans les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien

Les cycles lacustres définissent donc une logique de remplissage aboutissant à une période de hautes eaux puis de vidange de la cuvette lacustre se terminant par les périodes de basses eaux, le tout sous l'influence des climats tropicaux. Le lac fonctionne comme une véritable cuvette capable de se remplir mais aussi de se vider au gré des apports et des prélèvements naturels ou anthropiques. Cette logique est d'autant plus évidente dans le cas où l'on est confronté à des réservoirs d'origine anthropique dans lesquels une partie du cycle lacustre est artificialisé. La vitesse et l'amplitude de ces cycles permettent de déterminer le régime hydrologique du lac et d'en appréhender les impacts sur l'ensemble du système. L'analyse et la compréhension de ces rythmes lacustres s'avère un point fondamental afin d'établir une politique de gestion adaptée. Notre analyse des cycles annuels des lacs a permis de d'identifier ces deux phases (le remplissage et la vidange) et d'en établir leurs caractéristiques principales au sein d'une schématisation (**fig.53**).

La phase de remplissage correspond au passage de la période de basses eaux vers la période de hautes eaux. Ce remplissage se définit par une augmentation du niveau d'eau lié à des apports plus abondants. Leur origine dépend principalement des épisodes climatiques mais aussi des remontées de nappes souterraines qui maintiennent les niveaux élevés lorsque les épisodes pluvieux diminuent.

La phase de remplissage intervient dans la majorité des cas durant la saison des pluies avec un décalage plus ou moins important avec les épisodes pluvieux en fonction de la réactivité du bassin d'alimentation. La vitesse de remplissage, pouvant atteindre plusieurs décimètres voir mètres en quelques jours, dépend de l'intensité des épisodes pluvieux, dont la violence peut s'avérer exceptionnelle en milieu tropical insulaire comme le prouve les records de précipitations observés sur certaines du sud-ouest de l'océan Indien. De fait, La Réunion possède les records de précipitations enregistrés en 12h (1140mm en 1980 à Grand Ilet) et en 24h (1828mm en 1966 à Foc Foc), de tels abats d'eau favorisent des courbes de remplissage rapides qui permettent de passer en quelques jours de seuils d'étiage à des cotes maximales saisonnières. Les vitesses de remplissage de la cuvette peuvent être très rapides et le lac peut passer de situations de basses eaux à des seuils maximums en quelques semaines voire quelques jours suite au passage de dépressions tropicales. Ainsi en 2008, le Grand Etang de La Réunion (**fig.54**) a vu son niveau passer de 7,34m le 27 janvier 2008 à plus de 14,2m le 25 février 2008¹⁸¹ sans qu'aucun épisode pluvieux exceptionnel n'intervienne, ce qui traduit cette capacité extrêmement rapide de remplissage. A l'intensité des épisodes pluvieux s'ajoutent les volumes précipités dont l'accumulation permet aux lacs atteindre le niveau des hautes eaux voire leur cote maximale marquant la fin du remplissage. L'analyse des

¹⁸¹ Source : OLE Réunion

volumes des réservoirs traduit cette situation, ainsi le réservoir de Combani en 2002 voit son volume passer de 53,1% le 8 février à plus de 115%¹⁸² le 15 mars soit une augmentation de 909 688 mètres cubes en 36 jours, dépassant par là même sa cote maximale. Ce niveau de remplissage exceptionnel et soudain n'est pourtant aucunement lié à un phénomène cyclonique.

Ces épisodes de remplissage souvent rapides peuvent aussi provoquer des catastrophes comme des débordements des lacs qui ne peuvent évacuer par l'émissaire ou le déversoir de surface tous ces apports d'eau. De même ces excès peuvent aussi provoquer la rupture de la digue¹⁸³ ou du cordon littoral pour les lacs littoraux, comme l'envisagent certains plans de gestions des risques (DDRM de Mayotte)¹⁸⁴. Cependant à ces périodes de remplissage exceptionnel correspondent aussi des périodes où le remplissage s'avère insuffisant comme durant l'année 2007, où le réservoir de Dzoumogné à la fin de la saison des pluies n'a atteint que 87,1%¹⁸⁵ de son volume. Ce déficit a eu des impacts pour la suite de l'année car les divers prélèvements effectués et les pertes en eau ont réduit le réservoir à 43,7% de sa capacité à la fin de la saison des pluies, ce qui constitue l'un de ses niveaux les plus bas depuis sa mise en eau totale (janvier 2001). Néanmoins les précipitations abondantes de décembre et surtout de janvier ont permis de combler ce déficit et de rétablir la cote de remplissage à 100% (**fig.55**). Pour d'autres lacs, cette fois-ci d'origine naturelle, comme le Grand Etang à La Réunion, un déficit de remplissage consécutif à la saison des pluies peut entraîner une période d'assec (décembre 2007)¹⁸⁶ détruisant une partie des écosystèmes lacustres. Après avoir cerné les logiques de remplissage de ces réservoirs, nous allons tenter d'appréhender le processus de vidange de ces cuvettes.

¹⁸² Source : DAF MAyotte

¹⁸³ Ces ruptures constituent des risques potentiels mais n'ont pu être observées sur la période d'étude

¹⁸⁴ BRGM, Dossier Départemental des Risques Majeurs de Mayotte, 2010, p94-103

¹⁸⁵ Source : DAF MAyotte

¹⁸⁶ Source : OLE Réunion

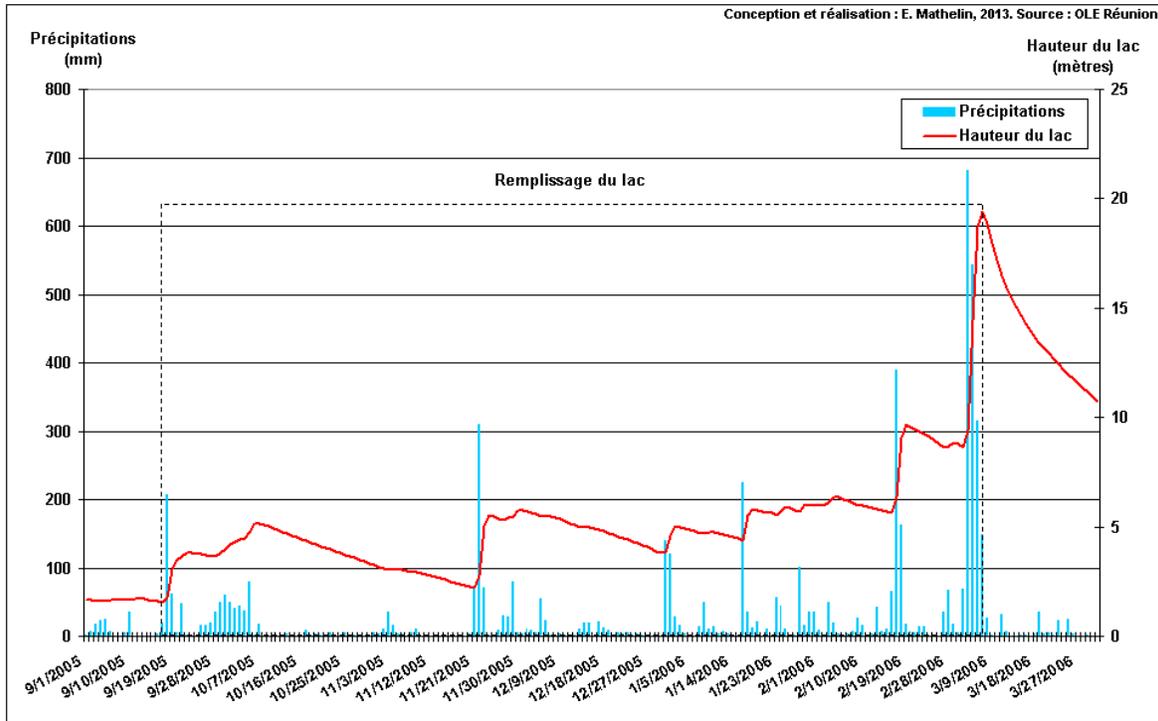


Figure 54 : Grand Etang (Réunion), phase de remplissage (2005-2006)

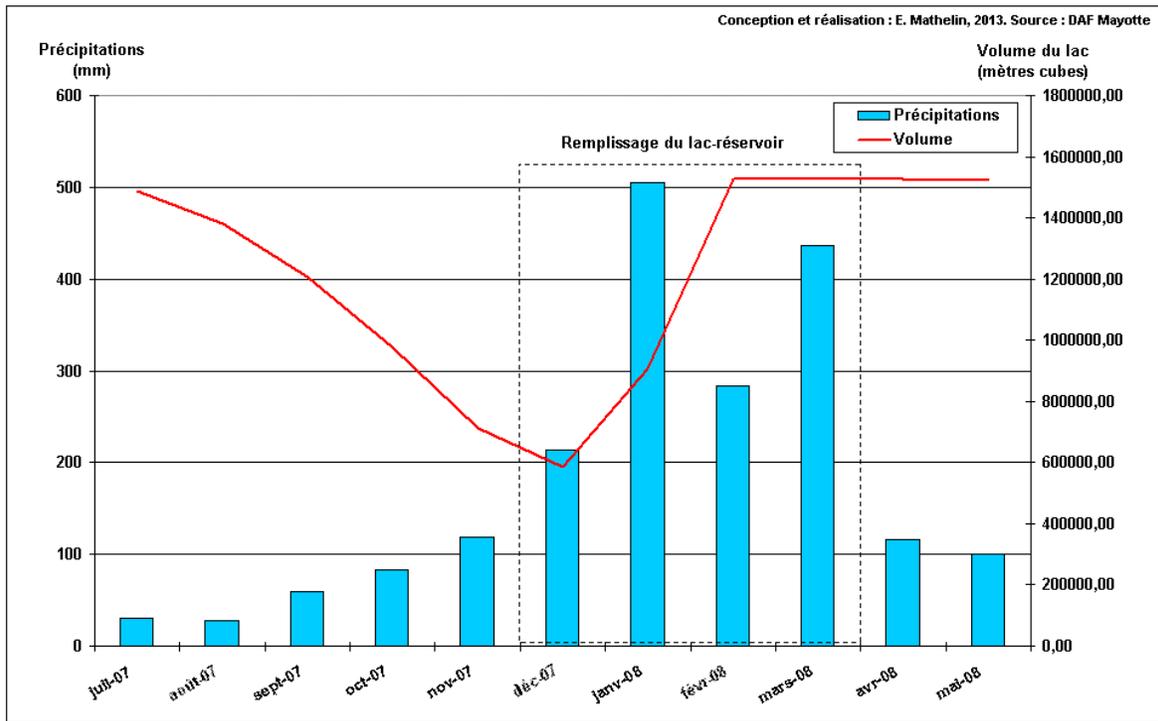


Figure 55 : Réservoir de Combani (Mayotte), phase de remplissage (2007-2008)

La phase de vidange correspond à la période entre 2 saisons des pluies. Le terme de vidange peut prêter à confusion car il se rapproche de celui utilisé pour les étangs afin d'effectuer des

curages et récupérer les poissons. Malgré cette possible confusion, le terme est tout à fait adapté car ce processus de lente restitution de eaux correspond à une vidange progressive. Nous différencierons donc les deux notions de vidange naturelle et progressive des vidanges soudaines et volontaires si besoin pour éviter les erreurs d'interprétation. Cette période de vidange progressive se définit par la diminution du volume d'eau accumulé du fait d'une évacuation naturelle (infiltration ou évaporation) mais aussi de prélèvements divers liés à l'action anthropique. Cette longue phase se caractérise donc par des apports d'eau réduits qui permettent aux lacs de réguler son niveau suite aux apports importants de la saison des pluies. L'évolution du niveau et des volumes d'eau permet d'appréhender la nature du processus de vidange et les impacts sur chaque lac. On peut donc différencier les cycles simples et les cycles complexes.

Les cycles simples se caractérisent par une diminution régulière du volume d'eau avec des apports limités hors-saisons des pluies, conduisant à une lecture simple du processus. La diminution du niveau et du volume s'effectue d'une manière régulière et progressive. La progressivité de ce mécanisme de vidange présente un intérêt dans le cadre de la gestion du lac car en fonction des cotes maximales, il est possible de déterminer les niveaux attendus lors des différents stades de vidange. Le Grand Etang à La Réunion est caractéristique de ce processus, bien qu'étant une cuvette naturelle, l'absence d'émissaire favorise le remplissage. La présence de failles souterraines¹⁸⁷ permet l'infiltration des eaux (**photo.24**), celle-ci est d'autant plus rapide que la pression d'eau est importante. On assiste donc à une baisse rapide du niveau du lac suite aux saisons des pluies avant un ralentissement progressif de la vitesse de vidange une fois que la pression des volumes d'eau diminue (**fig.56**). Ce cycle de vidange peut aboutir à des situations d'assecs prolongées et problématiques pour les écosystèmes lacustres. A noter que l'ampleur de ce processus varie selon les années en fonction des apports pluvieux, il est donc difficile d'en définir une régularité interannuelle. Les réservoirs de Combani et Dzoumogné à Mayotte correspondent aussi à ce type de processus (**fig.57**), ces deux lacs sont contrairement à l'exemple précédent des cuvettes d'origine anthropique dont le cycle de vidange peut être modulé par l'ouverture de vannes de fond. Sur ces deux réservoirs, le processus de vidange est marqué par une linéarité évidente, malgré des épisodes pluvieux isolés et réduits. Cette linéarité du cycle se répète sur les divers cycles annuels observés montrant à la fois la régularité du processus mais aussi son artificialisation par l'Homme pour répondre aux besoins de gestion.

¹⁸⁷ Mathelin.E, 2007



Photographie 24 : Fissuration de la couche sédimentaire dans le Grand Etang
Cliché Mathelin, 2007

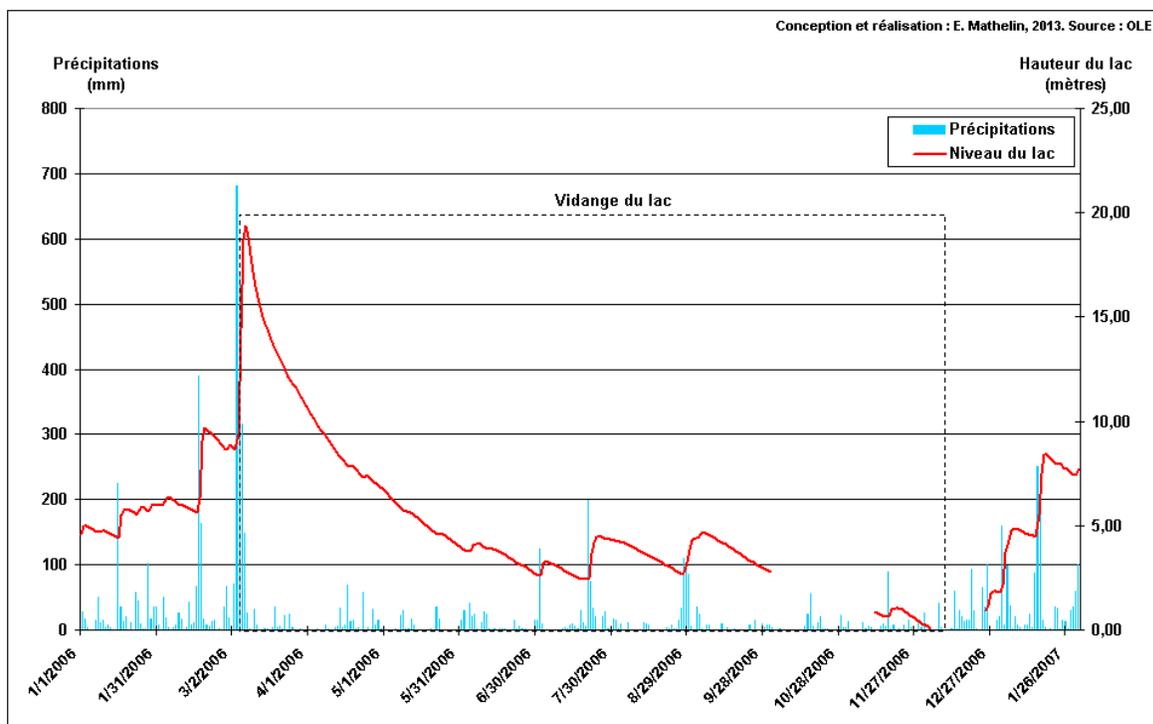


Figure 56 : Grand Etang (Réunion), phase de vidange (2006)

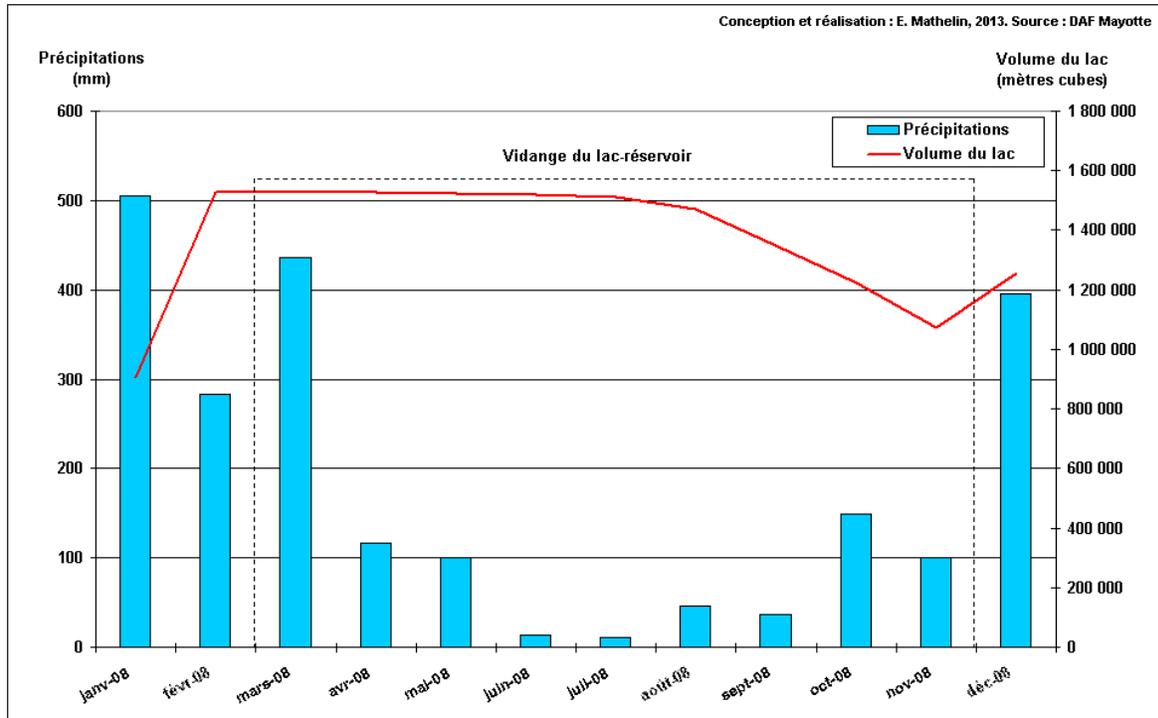


Figure 57 : Réservoir de Combani (Mayotte), phase de vidange (2008)

Les cycles complexes correspondent à un processus de vidange décalé et irrégulier. En effet la linéarité du cycle est rompue par la présence d'éléments exogènes qui provoquent des décalages dans les phases de remplissage et de vidange avec des ressauts et des seuils qui traduisent des ruptures dans le processus. Cette situation s'explique par la complexité des bassins d'alimentation et la présence de masses d'eau souterraines soutenant les étiages du lac ; ces éléments provoquent des décalages dans les cycles qui s'opposent aux cycles simples caractérisés par la réactivité des variations vis à vis des précipitations. L'analyse des cycles lacustres s'en trouve donc plus problématique car la mise en place d'une schématisation s'avère plus difficile.

Les cycles complexes s'observent le plus souvent sur les lacs côtiers où la présence de nappes phréatiques et de remontées maritimes dans ces plaines alluviales étroites va modifier la linéarité des processus. L'Etang Saint Paul à La Réunion correspond à cette situation (fig.58) avec un bassin d'alimentation de plus de 106 km², une proximité avec la mer et une cuvette étendue sur la plaine littorale. Ce lac présente toutes les composantes des cycles complexes. Le marnage annuel est réduit du fait de la configuration de la cuvette lacustre étendue et découpée. Le remplissage du lac s'effectue d'une manière plus irrégulière à cause de l'étendue du bassin d'alimentation et de sa localisation sur la cote sous le vent avec une phase de remplissage et de vidange ne répondant pas forcément aux épisodes pluvieux. En observant les cycles annuels nous avons constaté une inversion des processus, c'est à dire que les périodes de basses eaux correspondaient aux mois les plus pluvieux et les hautes eaux aux mois les moins pluvieux. La présence de nappes d'eau

souterraines dans la plaine littorale¹⁸⁸ modifie le processus de vidange en procédant à un soutien d'étiage. Il faut aussi noter que les remontées d'eau saline par le cordon littoral perturbent aussi le cycle de vidange. Le même type de processus est observé sur tous les lacs côtiers des espaces insulaires (Etang du Gol, Etang de Bois Rouge).

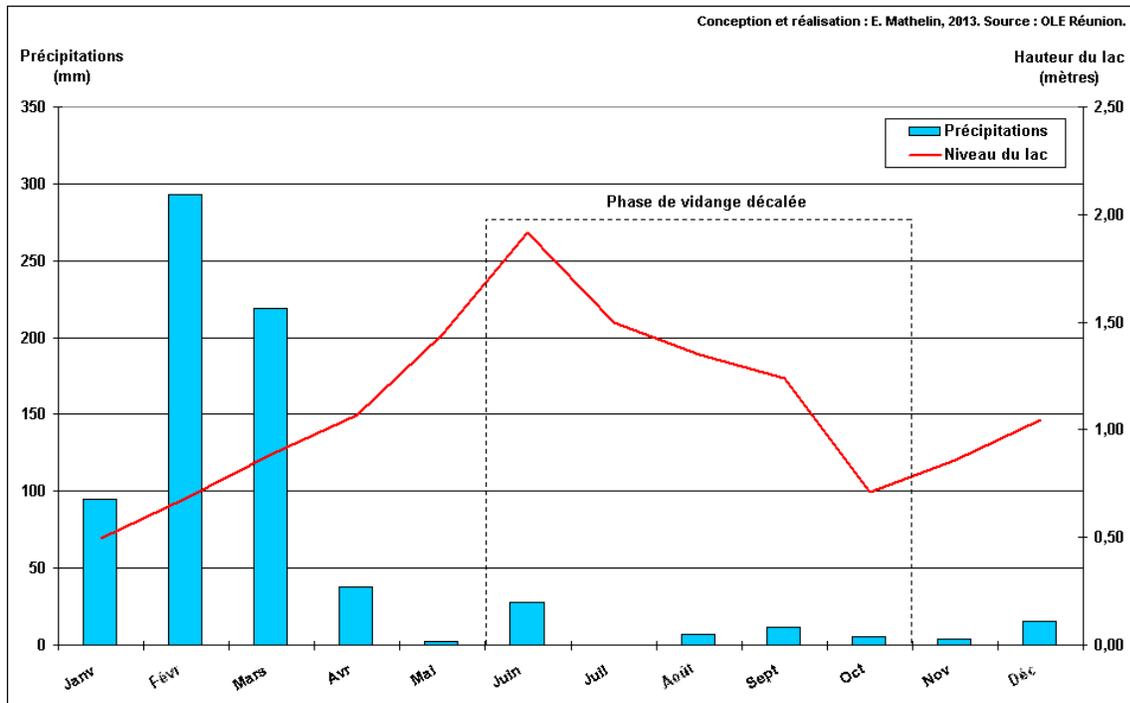


Figure 58 : Etang Saint Paul (Réunion), phase de vidange (2005)

A cette complexité naturelle du cycle de vidange s'ajoutent certaines interventions anthropiques visant à réguler le niveau du lac en ouvrant le cordon littoral à l'aide de tractopelles, comme cela fut réalisé durant de nombreuses années avant son classement en réserve naturelle. La proximité de ces lacs avec des zones urbaines et agricoles favorise aussi la mise en place de captages ou de pompes pouvant influencer le cycle de vidange progressif. On se trouve de fait au cœur de nombreux enjeux influençant leurs processus naturels et complexifiant les cycles.

Les situations décrites et analysées correspondent à des cycles observés sur plusieurs lacs et dont la récurrence permet d'en définir la normalité. Cependant les lacs insulaires observés répondent aussi des phénomènes exceptionnels (cyclones, ruptures de digues, éboulements....) qui peuvent perturber les cycles lacustres ou modifier durablement le fonctionnement du lac.

¹⁸⁸ TCO, 2005

3.2.1.3. Episodes exceptionnels.

Les épisodes exceptionnels constituent des situations ponctuelles, souvent brutales, ayant des impacts hors du commun sur les cycles lacustres mais aussi sur l'ensemble de la structure. Ils peuvent entraîner des bouleversements importants et durables. L'origine de tels épisodes peut être naturelle (cyclones, éboulements,...), mais aussi anthropique (vidange volontaire, pollutions...), parfois les deux. Il est indispensable d'intégrer de tels épisodes à l'analyse du cycle de vie lacustre pour penser et adapter les politiques de gestion en tenant compte des risques éventuels engendrés par ces phénomènes. Dans le cadre de l'étude des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien, nous avons retenu deux types de phénomènes exceptionnels ayant affecté un ou plusieurs des plans d'eau de la zone d'étude :

- Les cyclones, en particulier le cyclone Gamède en 2007, phénomène naturel qui a touché l'ensemble de la zone du sud-ouest de l'océan Indien et plus particulièrement La Réunion afin d'en observer les conséquences sur deux plans d'eau différents.
- Les vidanges soudaines et volontaires que l'on constate sur certains plans d'eau comme l'Etang du Gol et qui traduisent la méconnaissance du rôle de ces zones humides dans les hydrosystèmes insulaires.

Le phénomène de cyclone est un épisode climatique exceptionnel typique des zones tropicales soumises aux alizés. En effet la saison des pluies en climat tropical correspond à une période caractérisée par le passage de dépressions tropicales poussées par les alizés. L'intensité des dépressions est variable selon leurs conditions de formation, on les classe ainsi de dépressions tropicales à cyclone tropical intense constituant la valeur maximale de l'intensité de ces épisodes. Chaque saison des pluies voit la formation de plusieurs cyclones tropicaux intenses mais leur trajectoire aléatoire épargne le plus souvent les espaces insulaires. La plupart du temps, le passage s'effectue à plusieurs centaines de kilomètres n'entraînant que des effets indirects. Le cyclone Gamède a pour sa part touché l'île Maurice et l'île de La Réunion en février 2007, au stade de cyclone tropical intense avec un œil situé à moins de 200km des côtes ; cette intensité extrême traduit l'exceptionnalité du phénomène sur notre période d'étude. Les effets d'un tel épisode climatique se traduisent par des rafales de vent importantes (rafales supérieures à 160km/h)¹⁸⁹, des

¹⁸⁹ Source : MétéoFrance

précipitations abondantes (soit 4869mm en 4 jours au niveau du volcan)¹⁹⁰ et une houle exceptionnelle, provoquant des dégâts et des destructions.

Cependant ce phénomène n'a pas affecté l'île dans sa totalité, il s'est avant tout concentré sur la façade sud de l'île. La comparaison du Grand Etang et de l'Etang Saint Paul traduit ce différentiel. Pour le Grand Etang à La Réunion (**fig.59**), le passage du cyclone Gamède du 23 au 28 mars 2007 (**photo.25-26**) a permis le remplissage intégral de la cuvette avec 1999mm de précipitations¹⁹¹ en pas moins de cinq jours faisant passer le niveau 7,5m le 19 février à plus de 19,1m le 28 février soit une augmentation exceptionnelle de 11,6m en neuf jours. Bien que n'ayant fait aucune victime, cette vitesse de remplissage traduit la violence de l'évènement mais aussi les contraintes subies par l'ensemble de l'écosystème que se trouve ennoyé sous plusieurs mètres d'eau pour plusieurs mois. L'augmentation du débit des affluents du lac a favorisé l'érosion du bassin d'alimentation et permis l'accroissement de la plaine deltaïque¹⁹². Malgré l'absence de données, on peut certainement en déduire qu'une quantité importante de sédiments a dû se trouver mise en mouvement et redéposée dans le fond de la cuvette lacustre. En matière de gestion, cette situation s'avère particulièrement contraignante car l'ensemble des infrastructures d'observation et celles dédiées au tourisme se trouvent inaccessibles pour une longue période. Du fait de la configuration du site et de son manque d'aménagements durables, le cyclone Gamède a coupé le Grand Etang du monde durant plusieurs semaines et empêché toute activité touristique durant plusieurs mois.

¹⁹⁰ Source : MétéoFrance. Ce volume de précipitations sur 4 jours constitue un record mondial et correspond à près de 7 années et demi de précipitations sur Paris (moyenne 650 mm/an)

¹⁹¹ Source : MétéoFrance

¹⁹² Mathelin.E, 2007

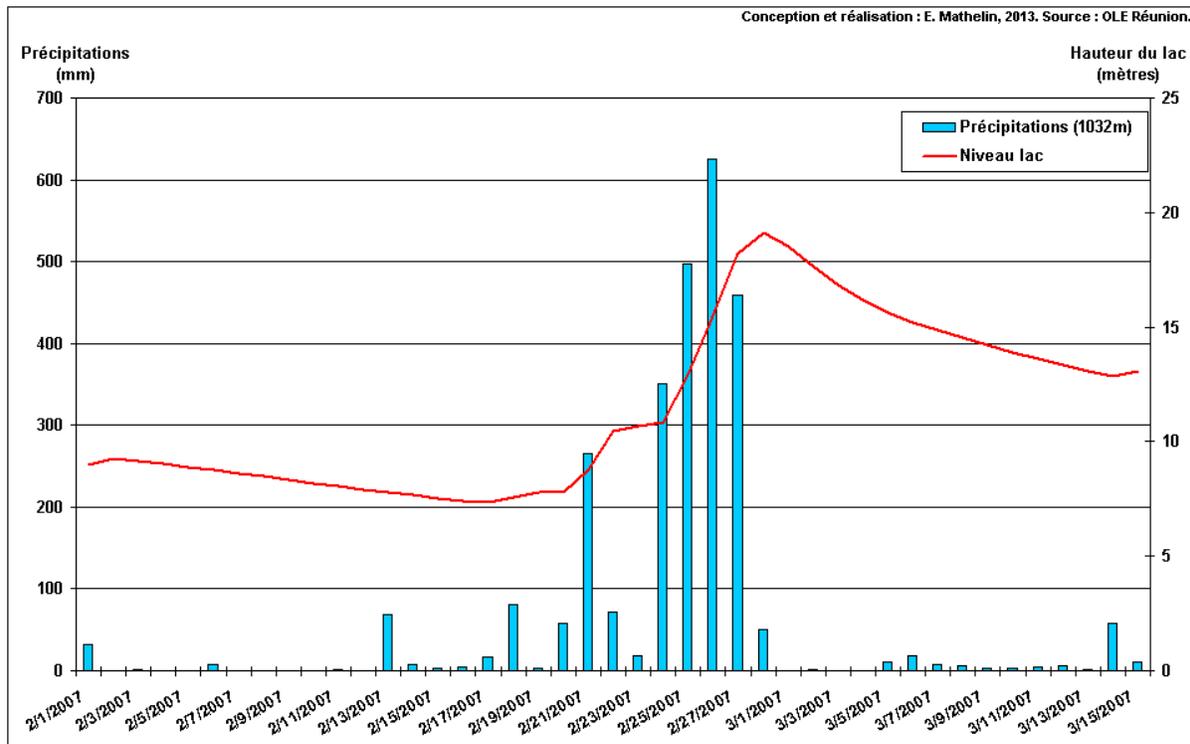
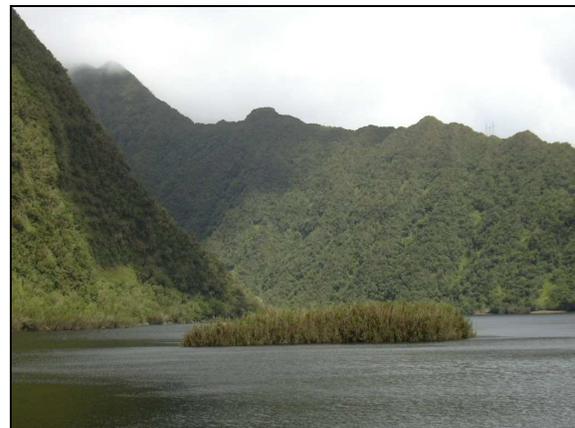


Figure 59 : Impact du cyclone Gamède en février 2007 sur le Grand Etang (Réunion)



Photographie 25 : Grand Etang, en période de basses eaux (octobre 2006)



Photographie 26 : Grand Etang, après le passage de Gamède (février 2007)

Pour l'Etang Saint Paul (**fig.60**), situé sur la côte sous le vent, les impacts ont été réduits car le phénomène climatique a principalement affecté le sud de l'île, seulement 519mm d'eau ont été relevés sur le site de Saint Paul. Afin de prévenir de ce risque climatique, une ouverture préventive du cordon littoral avait été décidée par arrêté préfectoral pour éviter l'inondation des certaines zones. Cette mesure n'a pas empêché que le niveau de l'étang passe de 0,85m le 24 février à 1.86m le 27 février, cette augmentation brutale d'un mètre, a constitué la cote maximale de l'année 2007 ; elle s'explique par le rebouchage partiel du cordon sous l'action de la forte houle. La morphologie

étendue du plan d'eau a provoqué l'inondation d'une grande partie de la plaine littorale. Les principaux impacts affectant ce plan d'eau sont à constater le long de la façade maritime car la forte houle a favorisé l'érosion des berges et le déracinement d'arbres de types Filaos qui maintenaient le cordon littoral fragilisant ainsi cette interface entre espace maritime et terrestre. Mais la gestion du cordon littoral a certainement limité l'étendue de la catastrophe en réduisant les zones inondées. L'Etang Saint Paul a rapidement pu retrouver des activités normales contrairement au Grand Etang. En effet les enjeux liés à l'urbanisation de la plaine littorale autour de l'Etang Saint Paul imposent une prévention et une réactivité bien plus importante que pour d'autres plans d'eau isolés dans les parties intérieures.

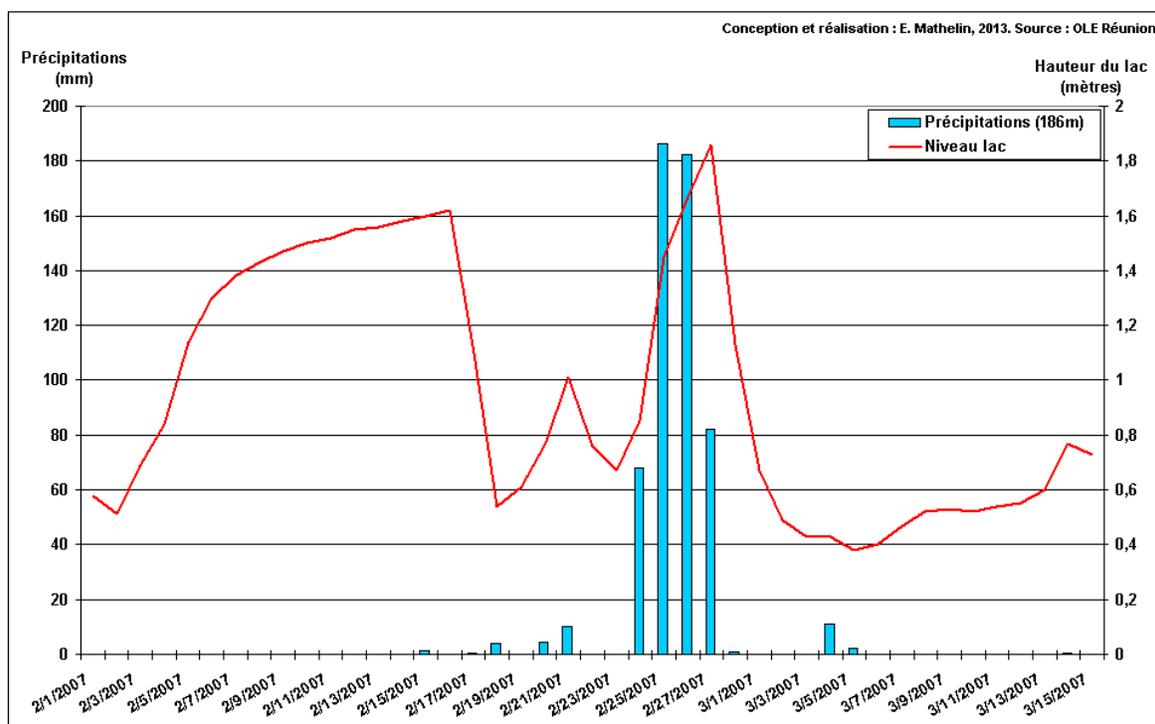


Figure 60 : Impact du cyclone Gamède en février 2007 sur l'Etang Saint Paul (Réunion)

Les actions anthropiques peuvent aussi avoir des conséquences extrêmement fortes sur le cycle de vie des plans d'eau et être considérées par la même comme des épisodes exceptionnels. La réalisation de vidanges volontaires pour des raisons variées et discutables constitue une rupture forte dans le cycle de vie du lac. Dans le cadre de plans d'eau de type réservoir, la vidange s'inscrit dans un cycle de gestion afin de réduire l'envasement et d'accroître la durée de vie de la cuvette. Mais pour les lacs naturels, le phénomène de vidange est tout à fait atypique car il est lié à une rupture de la digue provoquant l'évacuation partielle ou totale de la masse d'eau et la disparition temporaire voire définitive du lac. Cependant les Hommes peuvent aussi provoquer ce type de réaction d'une manière volontaire en pratiquant des travaux pour permettre l'évacuation d'une

partie du volume d'eau. Or les techniques de vidange sont très souvent difficiles à maîtriser et peuvent déclencher des catastrophes écologiques majeures.

L'Etang du Gol sur la commune de Saint Louis (Réunion) constitue un exemple de ce type de situation auxquelles les autorités communales en charge de la gestion du plan d'eau ont dû faire face. Suite aux épisodes pluvieux de novembre 2009, la commune de Saint Louis ont décidé de procéder à des travaux sur le cordon littoral¹⁹³ afin d'abaisser le niveau du lac et réduire le temps d'inondation de certaines zones. Cependant, la procédure mise en place fut mal contrôlée et l'ouverture s'est élargie, provoquant l'abaissement du niveau de l'Etang du Gol et un assèchement de certaines parties. Cet abaissement rapide est d'autant plus grave sur un plan d'eau côtier dont la structure est de type pelliculaire, ce qui laisse en assec une grande partie de la cuvette avec une nappe d'eau réduite à 90 centimètres dans sa partie la plus profonde.

Ce type d'évènement bouleverse totalement la vie de l'étang, bien qu'envahi en partie par des jacinthes d'eau dont la prolifération menaçait la survie des poissons, ce plan d'eau représentait un écosystème exceptionnel pour des espèces protégées comme le héron strié et les poules d'eau. Cette vidange subite a certes permis d'évacuer l'ensemble des jacinthes d'eau envahissant la cuvette mais elle a mis en péril l'ensemble de l'écosystème provoquant la disparition d'une grande partie de la faune aquatique qui se retrouve envasée ou relarguée en mer. Les autorités communales avec autorisation de l'Etat ont d'ailleurs décidé de reconstruire un cordon littoral temporaire pour accélérer le remplissage du lac avant que la mer ne façonne de nouveau un cordon. Plus largement, ce phénomène pose la question de la gestion et de l'aménagement de ces plans d'eau côtiers dont la fragilité du cordon littoral peut provoquer la disparition prématurée. Dans le cas étudié, la consolidation du cordon avec la mise en place d'aménagements spécifiques comme un déversoir de surface éviterait de telles prises de risque et assurerait un développement durable.

Les cycles lacustres possèdent donc leurs spécificités qui se déclinent à différentes échelles de temps. Cette réflexion temporelle doit être complétée par une analyse spatiale pour mieux appréhender les interactions du lac avec l'ensemble des hydrosystèmes insulaires.

3.2.2. Echelles d'analyses spatiales.

L'analyse spatiale des comportements hydrographiques des lacs insulaires va nous permettre de définir les relations existantes entre les différentes composantes du limnosystème (bassin d'alimentation, cuvette lacustre et réseau hydrographique). Les interactions entre l'amont et l'aval

¹⁹³ Zinfo974, 10/11/09

du lac permettent de comprendre sa place au sein du réseau hydrographique insulaire mais aussi son impact sur ce dernier.

3.2.2.1. Interactions amont (bassin alim-lac).

Les lacs observés nous ont permis de comprendre que ces plans d'eau étaient dominés par leurs bassins d'alimentation qui leur imposent leurs rythmes hydrologiques. Le bassin d'alimentation constitue donc un espace de transfert vers le lac dont les vitesses sont irrégulières. En effet les transferts du bassin d'alimentation vers la cuvette lacustre sont conditionnés par la pente, celle-ci dépend bien sûr des divers types de reliefs rencontrés. Dans le cadre des espaces insulaires observés, les reliefs souvent jeunes favorisent des pentes fortes (supérieures à 15%) et irrégulières. Les transferts ne sont donc pas linéaires, on observe de multiples ruptures qui vont créer des discontinuités dans ce continuum hydrologique. L'analyse des profils des bassins d'alimentation lacustres (**fig.61**), en particulier pour l'Etang Saint Paul, va nous permettre d'appréhender la logique de ces transferts qu'il est possible de décomposer en trois parties :

- Les fortes pentes liées aux têtes de bassin
- Les pentes intermédiaires ou relief de contact
- Les replats des zones humides périphériques

Les têtes de bassin se caractérisent par de fortes pentes comme dans l'essentiel des hydrosystèmes. Ces fortes pentes sont d'autant plus marquées que les reliefs des îles volcaniques restent relativement jeunes. Ainsi les plateaux intérieurs des îles, de type planètes basculées et découpées constituent des interfluves à ces bassins d'alimentation. Les précipitations se déversent avec abondance sur ces pentes alimentant un canevas de ravines. Ces premières pentes se terminent le plus souvent par des reliefs escarpés de type canyon dans lesquels les ravines donnent naissance à d'immenses cascades. Ces dernières constituent une première rupture de pente au sein du continuum hydrologique, leur présence est l'un des particularismes des transferts en amont des lacs en milieu insulaire tropical. Les cascades comme les cascades d'Annette du Grand Etang ou les différents « cassé » comme celui de la Rivière de l'Est à La Réunion (**photo.27**) sont des exemples de ruptures de pente.

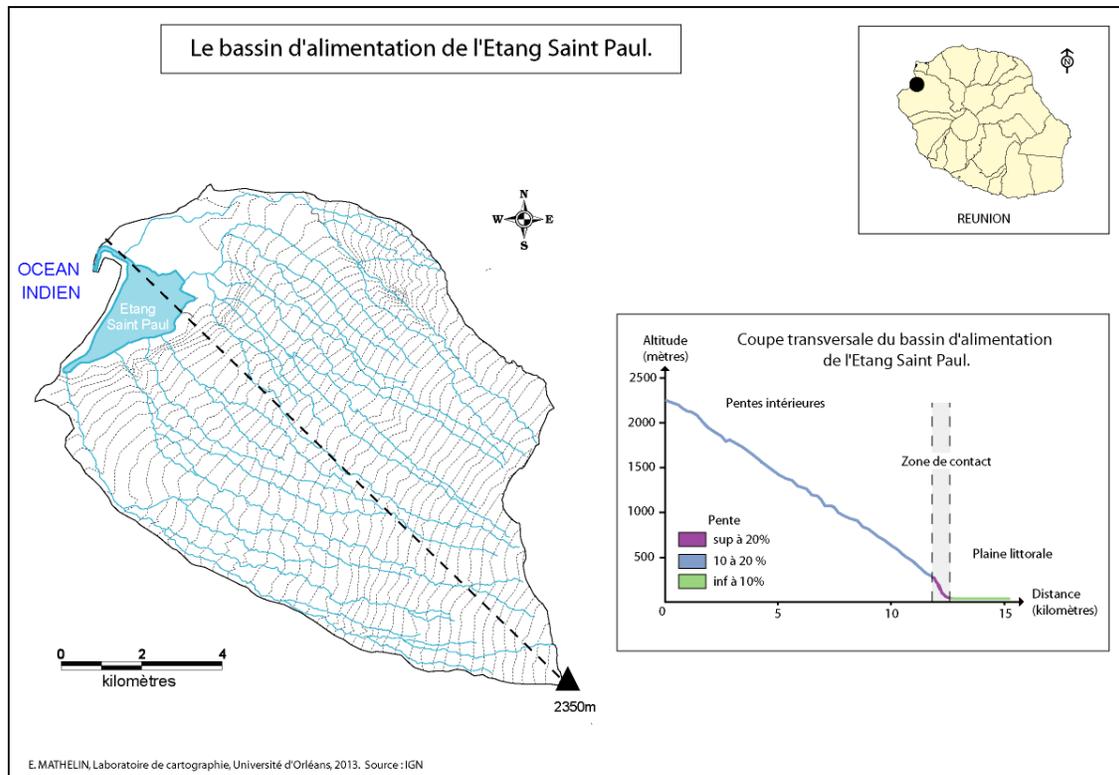


Figure 61 : La problématique de la pente dans les bassins d'alimentation des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien

Dans ces têtes de bassin d'alimentation, le couvert végétal est contrasté selon les pentes. En effet les pentes les plus modérées comme celles de certaines planèzes intérieures abritent un couvert végétal dense évoluant selon le gradient altitudinal. Au contraire des canyons abritant des cascades dans lesquels les fortes pentes limitent l'installation d'une végétation dense. Ces zones isolées demeurent des réceptacles de la biodiversité avec des formes de végétation primaire et de nombreuses espèces endémiques. Ces écosystèmes demeurent aussi très fragiles : toute action naturelle (cyclone, incendie...) ou anthropiques (déforestation, mise en place de captage...) peut bouleverser cet équilibre favorisant une érosion active. Ces têtes de bassin caractérisées par de fortes pentes irrégulières constituent des sites délicats pour l'implantation de réservoirs. En effet les écoulements rapides et souvent intenses en saison des pluies favorisent une érosion intense qui provoquerait un comblement rapide des plans d'eau situés dans ces pentes. Cette situation se retrouve dans le cadre des barrages hydroélectriques de Takamaka 1 et 2 à La Réunion qui ont été construits au pied du plateau de Bébour au cœur d'un canyon dans lequel la rivière des Marsouins prend sa source. Les visites de terrain de ce canyon difficile d'accès nous ont permis d'observer l'importance de la morphogénèse avec de nombreux bancs de sables s'accumulant en arrière des barrages.



Photographie 27 : Le cassé de la rivière de l'Est (Réunion)

Cliché Mathelin, 2012

Les pentes intermédiaires correspondent aux zones où les pentes du bassin d'alimentation s'adoucissent permettant ainsi la valorisation par les Hommes. Les profils des affluents tendent souvent vers une convexité contrastant avec la concavité liée au contact avec les têtes de bassins. Du point de vue hydrographique, ces pentes intermédiaires se caractérisent par des vitesses de transfert plus lentes, un écoulement plus structuré et un réseau hydrographique plus hiérarchisé. Ces pentes plus faibles subissent une pression souvent accrue du fait de la saturation des plaines littorales. La végétation primaire a été fortement dégradée voire remplacée par divers élevages ou plantations pour répondre aux traditions locales. Sur de nombreuses îles du sud-ouest de l'océan Indien, cette partie correspond à la zone de transition entre les espaces forestiers et la canne à sucre ou d'autres plantations commerciales qui acceptent ces faibles pentes.

Cette partie est donc une zone favorable à la mise en place de points de prélèvements et de réserves mineures comme les retenues collinaires. Sur l'île Maurice, l'essentiel des réservoirs (Mare aux Vacoas, Midlands, Mare longue...) a été installé sur ces pentes intermédiaires afin d'irriguer les cultures de canne à sucre et de thé. Leur mise en place ainsi que des points de prélèvements sur ces affluents à des fins domestiques ou agricoles constitue une déperdition en eau dans les transferts amont-aval. L'eau interceptée va donc servir à la croissance d'espèces végétales ou animales, être consommée par les Hommes ou déviée vers d'autres bassins d'alimentation afin de répondre à des besoins. Ce volume d'eau prélevé, s'il s'avère important du fait d'une forte pression anthropique, peut mettre en danger la continuité des transferts entre l'amont et le lac. Pour La Réunion, cela représente pas moins de 90 millions de mètres cubes utilisés annuellement pour irriguer 10

000hectares de cultures¹⁹⁴ et cela sans tenir compte des captages non déclarés et des déperditions dues au réseau d'irrigation. Ces prélèvements réguliers ont tendance à accroître les épisodes de basses eaux et accentuer les assecs des plans d'eau exposés.

Ces pentes intermédiaires constituent aussi des zones de contact avec les plaines littorales. Ces contacts peuvent se faire d'une manière très progressive par l'intermédiaire d'une pente inclinée comme cela est le cas pour l'île Maurice, preuve d'un relief plus ancien, ou avec une rupture de pente marquée favorisant l'apparition de canyons et de cascades comme cela s'observe pour l'Etang Saint Paul. Ce contact brutal correspond à une faille marquant la rencontre entre des plateaux volcaniques et une plaine littorale constituée de dépôts sédimentaires amenés par l'océan et les cours d'eau. Ces dernières pentes marquent donc l'approche vers une zone plus plane correspondant à la zone humide.

La zone humide est la partie périphérique la cuvette lacustre. Cette zone est constituée par un replat favorable au ralentissement des vitesses de transfert et à l'accumulation de sédiments. Ces espaces en creux terminés par une contre-pente favorisent la rétention d'eau et la création d'un lac. Ces zones humides, plus ou moins vastes selon la morphologie du bassin d'alimentation sont constituées principalement par une végétation hydrophile qui contraste avec le type de végétation que l'on retrouve sur les versants alentours. On y retrouve des espèces animales et végétales plus communes car ces zones doivent faire face à l'implantation d'espèces exotiques. Sur le plan hydrologique, elles ont une importance fondamentale car elles jouent le rôle de transition entre les pentes du bassin d'alimentation et le lac. La zone humide par sa structure saturée en eau absorbe une partie des flux et de permet une restitution différée et diffuse. Elle joue un rôle de zone dite tampon, qui s'affirme tant durant les périodes de hautes eaux avec les crues qui peuvent se voir écrêter par la zone humide et réduire ainsi son impact en aval de même durant les périodes sèches. Ces sols saturés en eau permettent de compenser le déficit d'apport en amont et maintenir le niveau de la nappe d'eau. La vaste zone humide entourant l'Etang Saint Paul à La Réunion s'inscrit dans cette logique : une partie des transferts amont du bassin d'alimentation se trouve absorbée et restituée d'une manière progressive dans le lac, limitant ainsi les importantes variations de marnage. Durant la saison sèche, cette même zone humide, soutenue par les nappes souterraines, maintient un niveau élevé du lac malgré l'absence de précipitations, ce qui complexifie les cycles lacustres de l'Etang Saint Paul¹⁹⁵. Ces zones humides jouent aussi un rôle indispensable dans la problématique de la ressource en eau. La progressive dégradation des zones humides littorales sous la pression de

¹⁹⁴ SDAGE de La Réunion, 2009

¹⁹⁵ TCO, 2005

l'urbanisation (**fig.62**) et des activités touristiques comme cela est observable pour l'île Maurice¹⁹⁶ met en danger les plans d'eau et leur écosystème qui se voit directement exposé aux agressions extérieures. Ainsi la dégradation de la qualité des eaux de ces lacs et de leur écosystème est-il un témoin caractéristique du manque d'attention porté à ces zones.

Les échanges entre l'amont et le lac s'effectuent dans un sens unidirectionnel. Le bassin d'alimentation domine donc le lac et lui impose ses rythmes et ses contraintes. En aval, le schéma de domination s'inverse car le lac domine le réseau hydrographique

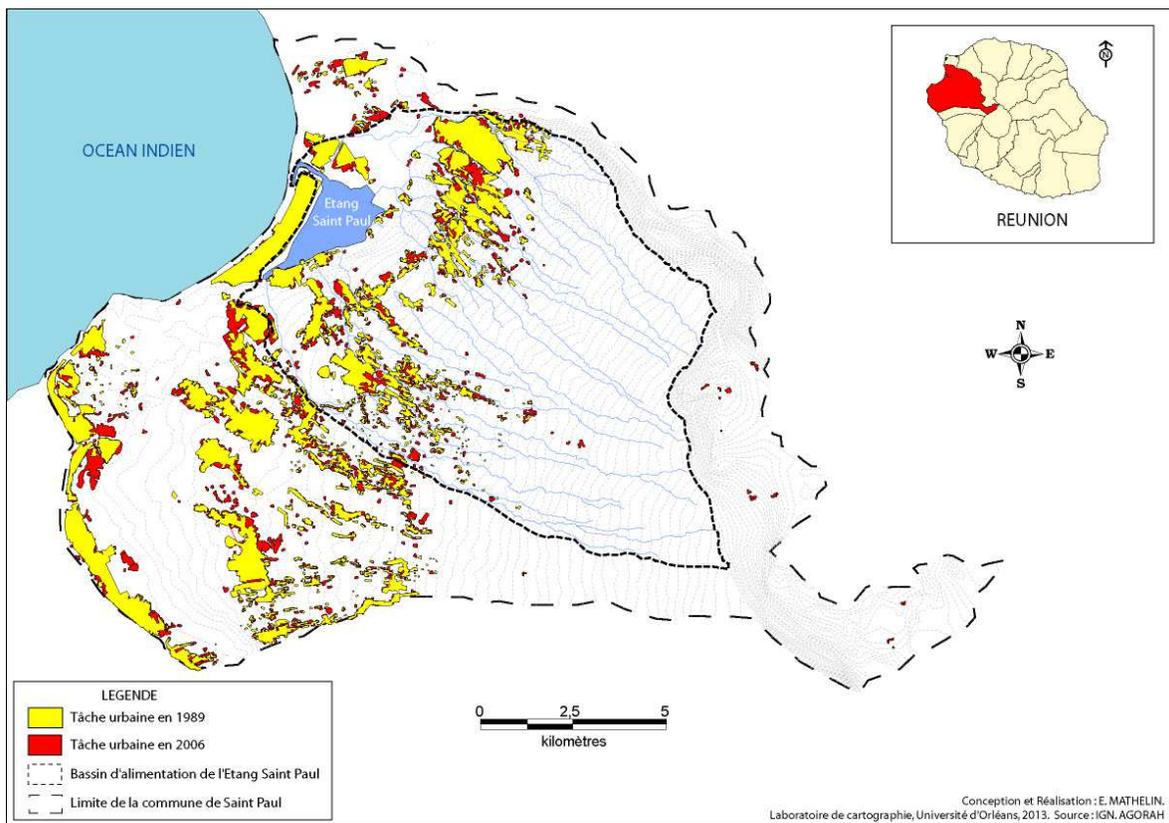


Figure 62 : Répartition et évolution de la population au sein du bassin d'alimentation de l'Etang Saint Paul (Réunion)

3.2.2.2. Interactions aval (impacts sur les hydrosystèmes / échange océaan-lac).

Dans l'ensemble des cas observés, nous avons pu observer que les échanges entre le lac et l'aval sont majoritairement dominés par le plan d'eau. Le lac domine donc en partie son aval et impose ses rythmes et ses caractéristiques sur une distance variable, ce qui en définit sa zone

¹⁹⁶ Le Mauricien, 06/08/2012

d'influence. En milieu insulaire, l'étroitesse des espaces réduit l'étendue des réseaux hydrographiques, ce qui permet aux lacs d'avoir une zone d'influence pouvant s'étendre jusqu'à la mer. Au contraire, le lac peut être dans certaines conditions sous l'influence de son aval, en particulier à l'approche des espaces maritimes. Les interactions lac-aval doivent donc s'envisager au travers d'une spatialisation de la zone d'influence lacustre pour mieux en appréhender les dynamiques et les impacts sur le réseau hydrographique.

Tenant compte de ces postulats, on peut distinguer plusieurs cas de figures afin d'analyser les relations du lac avec son aval :

- Les zones aval sous l'influence du lac
- Les zones aval dites de transition où l'influence du lac disparaît au profit d'autres rythmes hydrologiques
- Les zones aval qui imposent leur influence au lac (spécificité des lacs côtiers).

Les parties aval sous domination des rythmes lacustres correspondent aux zones les plus proches du lac. Cette influence se ressent sur les rythmes hydrologiques, les flux sédimentaires, la composition des eaux et les écosystèmes. Cette zone d'influence du lac n'apparaît pas comme un espace fixe et borné mais plus comme une zone marquée par une lente dégradation des conditions lacustres.

Pour les transferts hydrologiques, les échanges amont-aval s'effectuent à des pas de temps relativement courts malgré l'existence de décalages liés aux vitesses de transfert du lac. Dans les espaces insulaires, les épisodes pluvieux affectant l'amont sont ressentis assez rapidement en aval du fait de réseaux hydrographiques réduits et réactifs. Face à des précipitations tropicales souvent intenses et brèves pouvant déclencher des crues éclairs, la présence d'un lac conduit à absorber une partie de flux qui va être restitué en aval d'une manière plus progressive. Le lac régule donc les épisodes hydrologiques dans le cadre d'un fonctionnement naturel. Cependant dans le cadre de lacs d'origine anthropique où les débits sont régulés, cette logique de transfert peut s'en trouver modifier voire annihilée par des aménagements ou des réservoirs. En effet la présence de dispositif de vidange de type moine comme l'on retrouve sur l'ensemble des réservoirs les plus récents de l'île Maurice, régule le niveau du lac et adapte le remplissage aux besoins des saisons tout en maintenant un débit réservé (**photo.28**), contrairement à d'autres dispositifs comme les pelles de vidange (observé sur le réservoir le plus ancien de l'île Maurice, La Mare aux Vacoas) dont la fermeture empêche tout transfert en aval. Seul le déversoir de surface offre la possibilité de maintenir un débit quand un niveau suffisant est atteint, donc pas toute l'année. Cependant lors de ces transferts amont-aval, le lac peut aussi se révéler comme un point de perte en eau du fait des phénomènes

d'évaporation mais aussi aux infiltrations qui peuvent se produire au niveau de la cuvette lacustre, ce qui modifie considérablement les cycles des zones en aval du lac. Le Grand Etang à La Réunion est un exemple significatif de ce phénomène car l'ensemble du volume d'eau présent est évacué tous les ans par infiltration¹⁹⁷ et évaporation faute d'émissaire naturel. Les quelques résurgences situées en aval correspondent à une infime partie des volumes entrants dans le lac. D'après les observations de terrain effectuées, il semblerait plus probable que ce volume d'eau n'alimente pas forcément l'aval et en partie la Rivière des Marsouins située plus au nord mais s'écoulant à une altitude plus basse. Dans ce contexte, la linéarité du transfert hydrologique se trouve rompu et la grande partie des volumes basculerait vers un autre réseau hydrographique modifiant totalement les zones en aval sous domination du lac.



Photographie 28 : L'aval du réservoir des Midlands (Maurice)

Cliché Mathelin, 2013

Pour les transferts sédimentaires, le flux est discontinu car il se constitue de dépôts et de remises en mouvement. Le lac correspond à un point de dépôt de grande ampleur, véritable piège à sédiments, du fait de la rupture de pente. Pour les lacs naturels, ces dépôts sédimentaires peuvent durer plusieurs milliers d'année jusqu'au comblement de la cuvette lacustre ou une rupture de la digue qui pourrait provoquer une vidange prématurée. Pour les lacs d'origine anthropique, la présence de systèmes de vidange permet de limiter le comblement de la cuvette et de remettre en mouvement lors des vidanges (curages) une partie des sédiments accumulés. Le principe des lâchers d'eau organisés régulièrement a pour but de réduire cette accumulation et d'entretenir le système de vidange, mais ces brusques augmentations des débits en aval ont aussi des conséquences fortes en matière d'érosion ; pour les écosystèmes dont les éléments les plus fragiles peuvent se trouver emportés plus en aval. Les distances d'impact varient souvent selon la morphologie aval des lacs et

¹⁹⁷ Banton.O, 1985

des hydrosystèmes¹⁹⁸ (**fig.63**). La schématisation proposée se base sur l'observation de vidanges de réservoirs anthropiques (étangs limousins)¹⁹⁹ dont le principe d'accumulation est similaire. La problématique de la remise en mouvement de ces sédiments, observable au travers des taux de matières en suspension (MES) constitue une des principales cause de pollution. L'onde de vidange s'atténuant progressivement en aval en fonction d'une série de facteurs (rugosité, dilution...) favorise de nouveau le dépôt de sédiments. La période de recherche ne nous a pas permis d'assister à des situations de curage. Ce manque s'explique certainement par une situation de stress hydrique de ces îles pour lesquelles la vidange partielle ou totale des réservoirs induirait une longue période sans eaux, en particulier pour l'île Maurice. Cette politique de gestion tend donc à réduire l'espérance de vie de ces réservoirs avec la possibilité de voir des vidanges catastrophiques se produire en cas de curage après plusieurs années. Le curage de réservoirs représente ici un véritable risque écologique pour les hydrosystèmes insulaires en aval de plans d'eau. Les transferts sédimentaires pour les lacs anthropiques comme naturels s'avèrent donc discontinus mais cette irrégularité est liée au principe d'accumulation du lac. La disparition de l'influence lacustre ne s'effectue pas d'une manière brutale mais plutôt progressivement, définissant une zone de transition, avec le retour des rythmes du cours d'eau.

Les zones aval de transition lacustre correspondent à la fin de l'influence lacustre sur le cours d'eau. Celle-ci est variable dans le temps et dans l'espace en fonction des critères d'observation. Globalement, l'influence du lac s'estompe progressivement en aval, cette situation peut être mise en évidence à partir de divers indicateurs comme la température de l'eau²⁰⁰ ou la présence d'espèces animales ou végétales.

En matière de température de l'eau, les eaux de surface rejetées par le lac sont souvent plus chaudes que les eaux entrantes dans le lac du fait du principe de stagnation. Ce processus de réchauffement des eaux de surface est d'autant plus vrai dans les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien où le climat tropical permet le maintien toute l'année de températures supérieures à 28°C ce qui favorise le réchauffement et l'évaporation de la masse d'eau. Ainsi les eaux sortantes du lac vont maintenir cette température plus élevée jusqu'à la rencontre d'éléments extérieurs (confluence, ruptures de pente, ripisylve dense) qui vont lui permettre de l'abaisser et de se rapprocher de celle des autres affluents. Ce retour progressif à des températures proches de celles de l'amont va définir la limite d'impact du lac. Cependant la faible hiérarchisation des réseaux hydrographiques insulaires limite les confluences et accroît le plus souvent leur zone d'influence.

¹⁹⁸ Mathelin.E, 2003

¹⁹⁹ Mathelin.E et al., 2004, p39-63

²⁰⁰ Touchart.L, 2002

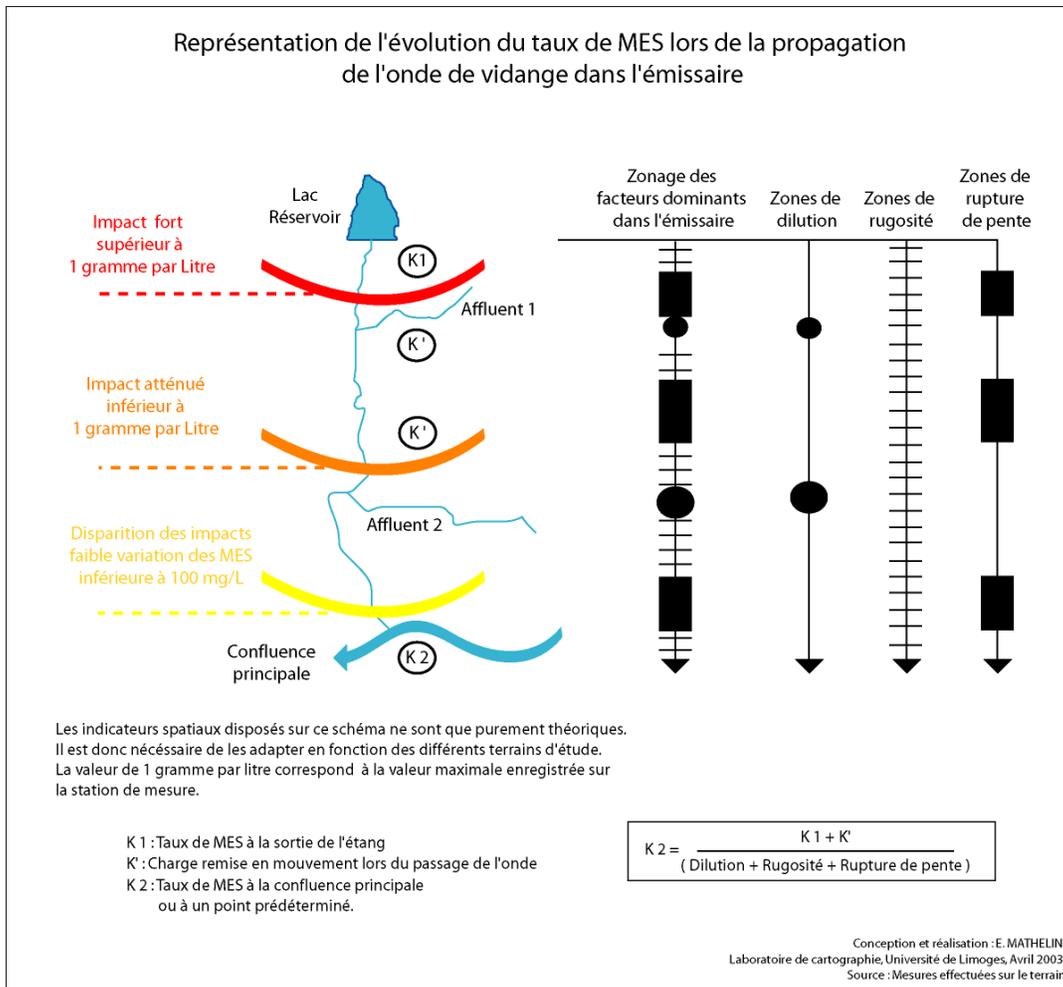


Figure 63 : Modélisation des distances d'impact d'un curage de lac-réservoir

L'observation des écosystèmes en aval du lac s'avère aussi un marqueur fondamental de l'influence lacustre. En effet la présence d'un lac avec ses eaux stagnantes favorise l'apparition d'espèces végétales et animales dites lentiques que l'on ne retrouve pas forcément dans des eaux courantes. Certaines espèces animales implantées naturellement ou non dans les lacs profitent des périodes de vidange pour coloniser l'aval du lac et y retrouver des points d'eau stagnants dans lesquels les sédiments se sont accumulés, les températures restent proches de celles du lac. Avec le déclin de l'influence lacustre (retour des eaux courantes, diminution de la température de l'eau, disparition des boues de vidange...), ces espèces disparaissent progressivement pour laisser place à des espèces lotiques. La disparition des espèces lentiques du cours d'eau marque la fin de l'influence lacustre sur son aval, cependant cette présence animale et végétale ne correspond en rien à une limite fixe et doit plutôt s'envisager en matière de cohabitation et de nuisances entre espèces. L'influence du lac doit donc s'envisager dans une logique spatiale afin de réfléchir au mieux à sa gestion en particulier son impact sur l'aval, or cette logique d'influence peut aussi s'avérer inversée.

Sous certaines conditions, les rapports lac-aval peuvent se trouver inversés, et le plan d'eau se voir influencé par ses émissaires. Cette situation se retrouve principalement en milieu côtier avec l'influence de la houle dont l'action est susceptible de perturber les cycles lacustres. Dans les espaces insulaires, la présence de lacs côtiers nous permet d'observer cette situation tout à fait exceptionnelle et ses conséquences sur les cycles lacustres et leurs écosystèmes. L'action des marées va permettre d'apporter un contre courant qui peut pénétrer dans l'émissaire voire directement à l'intérieur du lac si ce dernier est très proche. Ce courant va façonner le cordon soit en l'engraissant par l'apport d'éléments détritiques soit en l'érodant lors d'épisodes de fortes houles. Ces épisodes exceptionnels peuvent aussi modifier temporairement le fonctionnement de l'émissaire ou du lac en l'obturant par des éléments détritiques. Cependant sous la pression de la masse d'eau, le cordon finit par se fissurer de nouveau pour renouer le contact avec l'espace maritime. Les fortes houles engendrées par des dépressions tropicales sont l'occasion d'assister à cette action maritime qui permet d'obstruer l'émissaire du lac. Cela fut observé pour l'Etang Saint Paul lors de l'été 2011 où l'action de la mer a progressivement rebouché l'émissaire du lac, provoquant la hausse du niveau d'eau. Les importants épisodes pluvieux de janvier 2011 ont déclenché des inondations qui ont touché le quartier de l'Etang et l'ensemble des quartiers alentours.

Cette proximité de la mer favorise aussi l'apport d'eaux saumâtres au sein de l'émissaire et de la cuvette lacustre. Cette introduction d'eau saumâtre peut affecter et modifier l'ensemble de l'écosystème car des espèces d'origine maritime peuvent s'installer et bouleverser la chaîne alimentaire. La présence de sel est un facteur dégradant pour de nombreuses espèces d'eau douce, pouvant affecter les espèces les plus fragiles, appauvrissant ainsi la biodiversité. Ainsi l'écosystème devenu saumâtre possède-t-il une salinité trop élevée pour les espèces d'eau douce qui disparaissent mais pas assez forte pour l'installation durable d'espèces halophiles. Cette proximité du milieu maritime au lieu d'enrichir les écosystèmes a donc tendance à les appauvrir. Cette influence de l'aval sur l'amont se retrouve aussi dans les échanges souterrains réalisés au niveau du lac : les besoins en eau douce dans les espaces insulaires incitent à effectuer des pompages de plus en plus profonds dans les nappes. Ces derniers favorisent dans les parties littorales, les remontées d'eau maritime dans les nappes provoquant la salinisation de ces dernières. Les échanges entre le lac et les nappes durant les périodes sèches rendent ainsi les eaux lacustres saumâtres. Cette problématique de la salinisation des eaux littorales dépasse largement le cadre du domaine lacustre et pose plus globalement la question de la gestion de la ressource en eau en milieu insulaire.

Les interactions du lac insulaire avec l'ensemble du limnosystème sont vastes et complexes. Les exemples ici observés répondent à des fonctionnements généraux, cependant la mise en place d'écosystèmes spécifiques du fait de leur endémisme permet à ces lacs du sud-ouest de l'océan Indien d'accentuer leur typicité.

Chapitre 3.3. Observations des écosystèmes des lacs insulaires.

Les écosystèmes constituent des marqueurs du fonctionnement et de l'état de santé d'un lac. L'analyse de la biodiversité et des dynamiques de ces écosystèmes va nous permettre de caractériser ces lacs insulaires.

3.3.1. Le rôle des écosystèmes lacustres et des zones humides dans les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.

Les écosystèmes insulaires constituent des entités tout à fait spécifiques à l'échelle mondiale. Leur isolement géographique, relatif à l'échelle humaine, a permis aux espèces présentes de développer leurs propres caractéristiques quand les conditions y étaient favorables²⁰¹. Ces espaces isolés sont considérés comme des réservoirs de biodiversité dans lesquels les phases de colonisation tant naturelles qu'anthropiques ont permis l'implantation et l'épanouissement d'espèces très diverses. L'hybridation des espèces endémiques, indigènes et exotiques a favorisé la biodiversité faisant de ces espaces en apparence clos et isolés de véritables laboratoires d'observation et d'analyse des écosystèmes.

Ces diverses espèces ont pu s'implanter dans les multiples faciès observables dans ces espaces insulaires favorisant le développement d'écosystèmes très variés. En effet les contrastes sont forts entre les écosystèmes marins, les écosystèmes de transition entre terre et mer comme les mangroves ou les lacs côtiers et les écosystèmes terrestres se développant sur les flancs des volcans, dans les dépressions fermées ou même sur les quelques pitons rocheux. L'ensemble de ces paysages naturels ne peut plus s'envisager sans l'empreinte humaine, d'autant plus forte dans les espaces insulaires, où le manque de place pousse à l'implantation d'activités dans des zones souvent inadaptées. L'exemple de l'île Maurice est flagrant en cela car la colonisation humaine a provoqué la disparition de l'essentiel de ses forêts primaires (**fig.64**) remplacées progressivement par des

²⁰¹ Demangeot.J, 1999, p284-285

champs de thé ou de canne à sucre²⁰². Les écosystèmes primaires restant en place se trouvent alors restreints à des surfaces réduites dont seule la mise sous réserve permet de ralentir leur dégradation. Les paysages insulaires sont donc une immense richesse de part leur variété mais ils s'avèrent aussi en danger face aux besoins de place grandissants.

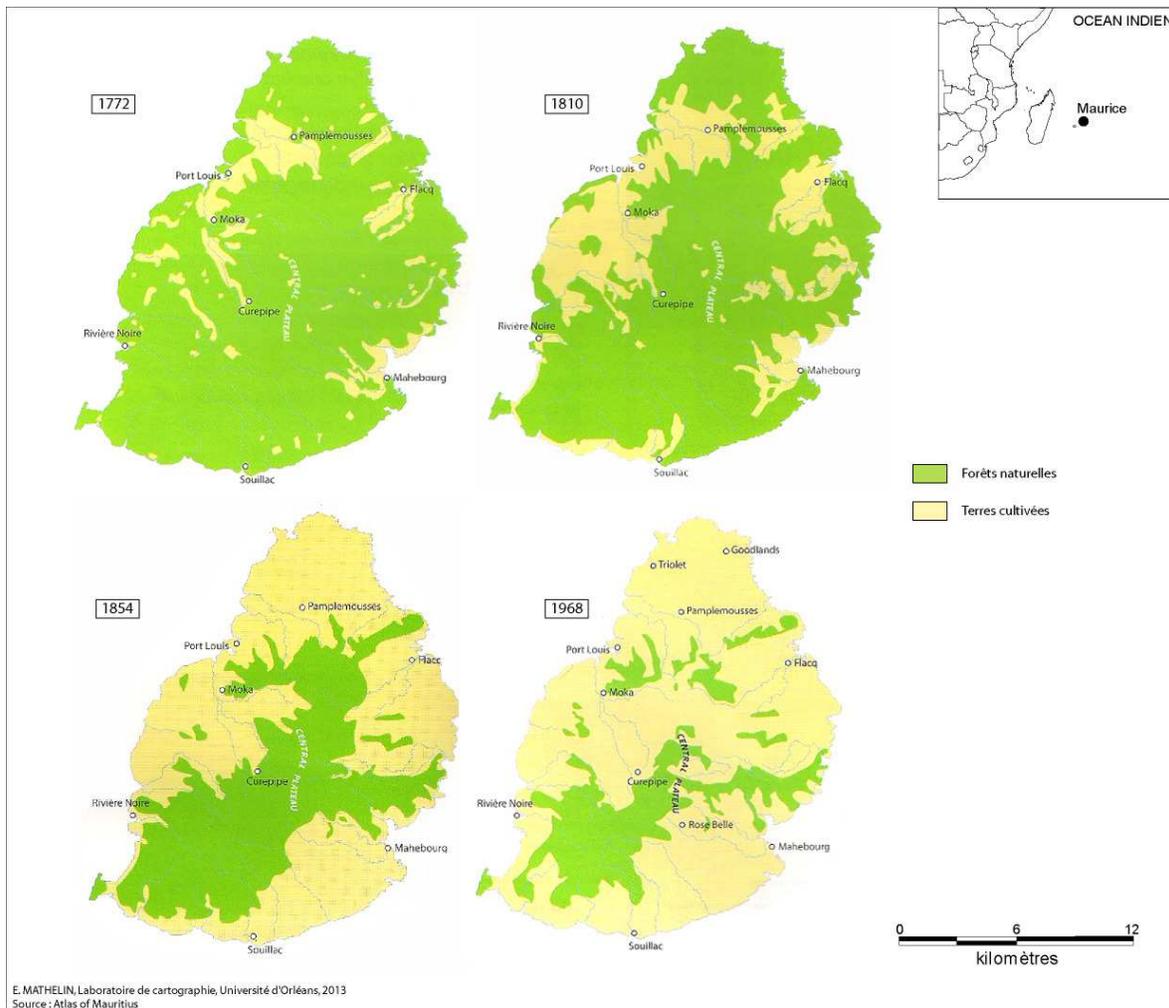


Figure 64 : La déforestation de l'île Maurice (1772-1968)

Parmi ces entités paysagères, les zones humides constituent des zones fragiles du fait de leur rôle prépondérant joué au sein du cycle hydrologique. Leur importance est d'autant plus forte en milieu insulaire où les réseaux hydrographiques sont réduits et la ressource en eau douce s'avère prépondérante pour le maintien de la vie sur ces bouts de terre. En effet les zones humides ont de multiples rôles au sein des espaces insulaires. Au-delà d'être de véritables régulateurs pour les transferts hydrologiques, elles constituent de véritables filtres pour les eaux douces grâce à leurs écosystèmes permettant de restituer en mer des eaux épurées, limitant la pollution sur les côtes. Les

²⁰² Cader Kalla.A, 2010, p20

pressions exercées sur les littoraux par les Hommes pour l'implantation d'activités provoquent la réduction voire la disparition de ces zones d'interface dont le rôle mal compris est réduit à de simples marécages nauséabonds. Le recul progressif de ces zones humides, corrélé à l'augmentation des activités sur le littoral favorise la dégradation des écosystèmes littoraux et le développement d'espèces dangereuses pour les Hommes comme le prouve la multiplication des attaques de requins sur la côte ouest de La Réunion²⁰³. Cette présence accrue des requins sur le littoral est en partie due à la disparition des zones humides qui ne peuvent alors plus filtrer les rejets en mer ce qui favorise la sédentarisation d'espèces de requins dit « bouledogue » qui s'acclimatent principalement dans les milieux dégradés. Malgré ces rôles majeurs, les zones humides occupent une part réduite dans les stratégies de protection et de développement des écosystèmes insulaires comme en atteste le recensement des entités paysagères remarquables dans lequel à La Réunion comme à Mayotte aucune zone humide terrestre n'est répertoriée, l'intérêt étant se portant sur les massifs montagneux volcaniques et les lagons.

Pourtant, de nombreuses zones humides sont recensées sur ces espaces. La Réunion a effectué l'inventaire le plus abouti avec pas moins de 27 zones humides répertoriées en 2003, en 2009 puis en 2011²⁰⁴ par la DIREN et le Conservatoire botanique de Mascarin. Ces zones ont été classées selon une typologie distinguant les zones humides de montagnes, de collines et plateaux, les mares littorales et les mares alluviales. La mise sous protection de ces zones a permis et d'en conserver tout le potentiel écologique. Un même recensement est en cours à Mayotte afin d'identifier et surtout de cartographier les zones humides remarquables de l'île. D'ores et déjà certaines zones comme la vasière des Badamiers (**photo.29**), jusque là peu valorisées ont été reconnues pour leur intérêt écologique et inscrites dans le répertoire international de la convention de Ramsar. D'autres zones humides attendent d'être aussi reconnues comme les lacs Dziani Dzaha ou Karéhani ou les mangroves des baies de Bouéni et de Dzoumogné. Leur mise en réserve prochaine permettra d'en limiter les agressions sur leurs écosystèmes fragiles. Pour l'île Maurice, la situation est plus délicate car l'île regrouperait pas moins de 200 zones humides (ou wetlands) selon un rapport du Ministère de l'Environnement et du Développement durable²⁰⁵ mais très peu de lois sont censées les protéger et cette protection est d'autant plus fragile que ces zones humides se situent sur des terrains privés (144 propriétaires se partageraient 38 hectares). Ainsi 50% des zones humides du nord et de l'ouest ont disparu à un rythme de 1000m² par an face à la pression immobilière de ces régions touristiques. Même si deux sites (l'estuaire de Terre Rouge et le parc

²⁰³ Outre mer 1^{ère}, 03/07/2013

²⁰⁴ Lacoste.M, Delbosc.P, Picot.F, 2011

²⁰⁵ Le Mauricien, 10/02/2012

marin de Blue Bay) ont rejoint la liste de la convention de Ramsar, le reste des zones humides est vivement exposé et la structure juridique (Wetlands Bill) ayant pour but de les protéger prend du temps à être mise en place. La situation des zones humides est donc très contrastée d'une île à une autre, malgré des pressions communes.



Photographie 29 : La vasière des Badamiers (Mayotte)

Au sein de ces zones humides, le lac occupe une place à part entière mais dont l'importance est souvent négligée. L'absence de lacs majeurs comme l'on peut en retrouver sur les espaces continentaux, réduit donc la vision du lac pour les sociétés insulaires à de petites entités souvent marécageuses au regard des lacs côtiers (Etang Saint Paul à La Réunion) ou à des zones humides intérieures réduites (Grand Bassin à Maurice) ou non pérennes (Grand Etang à La Réunion). Les autres entités lacustres identifiables dans les espaces insulaires sont donc des constructions humaines, à la base de simples réservoirs d'eau douce ex-nihilo (réservoir de Dzoumogné à Mayotte) ou des réservoirs supplantant des zones marécageuses existantes (Mare aux Vacoas à Maurice). Ces entités anthropiques développant des comportements lacustres et de véritables écosystèmes sont trop souvent réduites à leur usage premier de réservoir dédié à la consommation d'eau et à l'irrigation sans prendre conscience de leurs potentialités écologiques. En effet de part leur origine volcanique, ces espaces insulaires de l'océan Indien privilégient des éléments liés au volcanisme ou à ses conséquences comme les lagons. Le lac quelle que soit sa forme n'occupe qu'une place secondaire voire se trouve négligé malgré son rôle essentiel au sein de la problématique de la ressource en eau. Ce travail de recherche a donc aussi pour finalité d'en souligner la richesse et les caractéristiques propres pour qu'il occupe une place adaptée dans les stratégies de valorisation des paysages insulaires.

3.3.2. Des plantes endémiques aux pestes végétales.

Les espaces insulaires observés trouvent leur origine dans un volcanisme intra-plaque en plein milieu océanique, souvent éloigné des masses continentales. La colonisation par les espèces végétales et animales s'est donc faite par des apports extérieurs liés à des formes de contact diverses (dérives de débris continentaux, introduction d'espèces liées aux migrations d'oiseaux, arrivée des Hommes...). Ainsi la colonisation de ces espaces insulaires a souvent été progressive favorisant le développement d'espèces similaires au sein d'un même archipel²⁰⁶. Ces espèces arrivées d'une manière naturelle sur les îles et observables sur d'autres territoires sont dites « indigènes ». Elles s'opposent en cela aux espèces dites « endémiques » qui arrivées aussi de manière naturelle (voie aérienne, voie maritime...) sur l'île, ont connu leur propre évolution afin de s'adapter aux conditions insulaires. Ces espèces dont la présence est exclusivement délimitée à une aire géographique constituent la richesse écologique de ces espaces insulaires. Cependant cette biodiversité naturelle a souvent été bouleversée par l'action humaine. Par leur installation, les Hommes ont détruit certains écosystèmes ou ont implanté, volontairement ou non, des espèces qui remettent en cause l'équilibre naturel de l'île. Ces espèces introduites par les Hommes sont dites « exotiques »²⁰⁷ avec la présence de nombreuses pestes végétales ou animales qui colonisent les écosystèmes au détriment d'autres espèces indigènes ou endémiques. Nos espaces insulaires sont donc confrontés à la juxtaposition de ces trois types d'espèces qui constituent la richesse des paysages mais aussi le principal danger. En effet l'équilibre s'avère précaire entre ces espèces dont les plus récemment introduites provoquent la disparition des espèces les plus fragiles et l'appauvrissement de certains écosystèmes.

Les zones humides et les lacs sont confrontés à cette problématique écologique. En effet leur situation de cuvette liée à leur morphologie est un espace favorable à l'isolement des espèces et au développement d'écosystèmes endémiques. De plus l'humidité liée à la rétention d'eau couplée à la chaleur tropicale crée des conditions favorables au développement des plantes, ce qui explique la densité végétale entourant les zones humides insulaires tropicales. Cet épais couvert végétal entourant les lacs insulaires constitue une zone d'abri parfaite tant pour les oiseaux que les divers mammifères terrestres ou aquatiques. Cette ambiance marécageuse s'avère aussi une protection face à la colonisation humaine car ces zones considérées comme insalubres ont longtemps été craintes et délaissées par les Hommes.

²⁰⁶ Atlas de La Réunion, 2003, p30-34

²⁰⁷ DREAL Réunion, <http://www.reunion.developpement-durable.gouv.fr>, fournit une liste de l'ensemble de ces espèces dites exotiques ou invasives

Pour mettre en avant cette situation d'équilibre écologique précaire, il nous a paru nécessaire de nous appuyer sur un exemple concret. Ne pouvant étudier les écosystèmes de chaque lac insulaire, nous avons privilégié l'observation d'un lac qui semble le plus représentatif des enjeux écologiques des écosystèmes insulaires. En cela le Grand Etang de La Réunion, situé au cœur du Parc national des Hauts constitue un exemple approprié à la fois en partie isolé des pressions littorales mais soumis à des pressions anthropiques liées au tourisme ou aux activités agricoles. Il est donc un juste compromis entre les écosystèmes fortement anthropisés observables sur l'île Maurice et ceux de l'île de Mayotte pour lesquels l'état de conservation s'avère exceptionnel. Ce lac endoréique à marnage annuel important s'étend au cœur d'une vallée fortement encaissée obturée par une coulée volcanique ; le bassin d'alimentation (5,69 km²) est constitué d'une forêt mégatherme de moyenne altitude avec quelques captages dédiés aux activités agricoles situées plus en aval. Ce site géré par l'ONF présente un état de conservation « plutôt bon » selon les inventaires des zones humides²⁰⁸ et un intérêt écologique qui se caractérise par sa qualité paysagère (lac enchâssé dans un cirque naturel) mais aussi par des écosystèmes rares comme des reliquats de forêt hygrophile de basse et moyenne altitude ainsi que des espèces d'invertébrés aquatiques rares résistants à l'assèchement ponctuel du lac. L'objectif de la gestion du site étant de préserver les principaux écosystèmes endémiques et de pouvoir de fait effectuer une valorisation touristique durable et respectueuse.

L'inventaire des écosystèmes²⁰⁹ réalisé dans le cadre du recensement des zones humides nous permet d'observer toute la biodiversité (faune aquatique, faune terrestre et flore) d'un tel site et les menaces qui pèsent sur cette dernière.

La faune terrestre a su s'adapter aussi aux variations importantes du niveau du lac. Les phases d'assèchement ne provoquent pas la disparition de cette faune comme cela est le cas pour une grande partie des espèces aquatiques. L'avifaune se compose de très peu d'oiseaux nicheurs car la nappe d'eau ne leur offre pas un écosystème stable. L'essentiel des oiseaux observés est donc associé au milieu forestier entourant le lac ainsi qu'aux remparts délimitant le cirque. La proportion d'espèces exotiques (merle de Maurice et cardinal) est relativement faible mais leur densité égale celle de certaines espèces indigènes. L'environnement lacustre abrite cependant des espèces endémiques de La Réunion comme le papangue ou le puffin de Baillon se nourrissant des différents reptiles et amphibiens. Les reptiles présents caractérisent tout à fait cet équilibre écologique entre les espèces endémiques tel le gecko vert des forêts et les espèces exotiques comme le crapaud

²⁰⁸ Lacoste.M, Delbosc.P, Picot.F, 2011, p41-42

²⁰⁹ DIREN, 2005

africain ou la grenouille des Mascareignes. Le milieu forestier abrite aussi quelques mammifères exotiques comme le tangué ou le rat noir. Pour compléter l'inventaire de la faune terrestre, nous pouvons ajouter l'observation des invertébrés terrestres dont l'analyse laisse apparaître un endémisme fort pour deux groupes majeurs : les lépidoptères et les orthoptères. Tout comme la faune aquatique, la faune terrestre est marquée par un équilibre fragile entre les familles d'espèces. La surreprésentation de l'une, en particulier pour les espèces exotiques pourrait provoquer un fort déséquilibre de l'écosystème.

Pour la faune aquatique, les importantes variations de niveau, pouvant aller à l'assèchement de la cuvette, caractérisant de nombreux lacs insulaires sous régime tropical (liées au climat mais aussi aux divers prélèvements), influencent les habitats de la faune aquatique et empêchent le maintien de certaines espèces. Ces variations de niveau tout au long de l'année favorisent une régionalisation en micros-écosystèmes au sein de cet environnement lacustre (cuvette lacustre, affluents, zone forestière et marécageuse). En effet les phases d'assèchement du lac induisent des réactions contrastées selon les familles d'insectes, on constate la disparition d'une grande partie des insectes (certainement des migrations vers des sites proches) mais aussi la persistance de certains crustacés (branchiopodes) qui se maintiennent dans des poches d'eau. La remontée du niveau du lac, en particulier, le remplissage de la cuvette favorise la reprise du développement des crustacés mais aussi la recolonisation des insectes de surface (gyrins) et de pleine eau (notonectes) pour l'ensemble de la cuvette lacustre. La période de hautes eaux durant laquelle la zone herbacée se trouve inondée correspond au début de la phase de reproduction des insectes aquatiques et à la colonisation des odonates et dytiques. A ces invertébrés d'eau douce s'ajoute la présence de poissons comme les guppys ou le carassin doré (**photo.30**), deux espèces exotiques qui constituent des menaces sérieuses pour certaines espèces d'invertébrés. Ces poissons sont des souches très résistantes qui survivent dans les petites poches d'eau entourant le plan d'eau durant les périodes de basses eaux. Leur prolificité menace directement les invertébrés durant la période de recolonisation. Le carassin doré, par le biais de son action consistant à retourner la vase contribue à accroître la turbidité de l'eau ce qui perturbe les autres espèces d'invertébrés. L'environnement lacustre renferme à son tour un nombre important d'espèces d'amphibiens à l'instar du crapaud africain (espèces exotiques) et la grenouille des Mascareignes (espèces exotiques) (**photo.31**) mais dont la reproduction est délicate. Ces rythmes tout à fait particulier et l'adaptabilité des écosystèmes constituent la richesse de ce site.



Photographie 30 : Le carassin doré



Photographie 31 : La grenouille des Mascareignes

La flore exceptionnelle que l'on retrouve sur le site du Grand Etang lui a aussi permis d'intégrer le parc naturel des Hauts. Au niveau de la zone rivulaire, les variations de niveau favorisent l'implantation d'une végétation subaquatique et hygrophile à fort degré de recouvrement (**fig.65**). Les strates végétatives de ce milieu sont directement en lien avec les variations de niveau du lac. Ainsi les strates inférieures composées de fougères traduisent un ennoisement partiel sur l'année avec des espèces hydrophiles tandis que les strates supérieures plutôt arborées marquent une immersion exceptionnelle liée à certains épisodes climatiques. La végétation s'organise donc sous forme d'auréoles concentriques autour de la nappe d'eau allant des formations à fougères (*Cyclosorus interruptus*) (**photo.32**) les plus importantes de La Réunion à des fourrés secondaires à mûrier avant la transition vers le milieu forestier. Ce milieu forestier se compose d'une forêt hygrophile de basse et moyenne altitude abritant diverses espèces d'orchidées à fortes valeurs patrimoniales. La présence d'espèces végétales exotiques invasives comme la *Rubus alceifolius* plus communément appelée la Vigne marronne constitue un danger pour ce site et pour les autres espèces du fait de sa capacité à recouvrir et étouffer les plantes environnantes, c'est pourquoi elle est qualifiée de « peste végétale ».

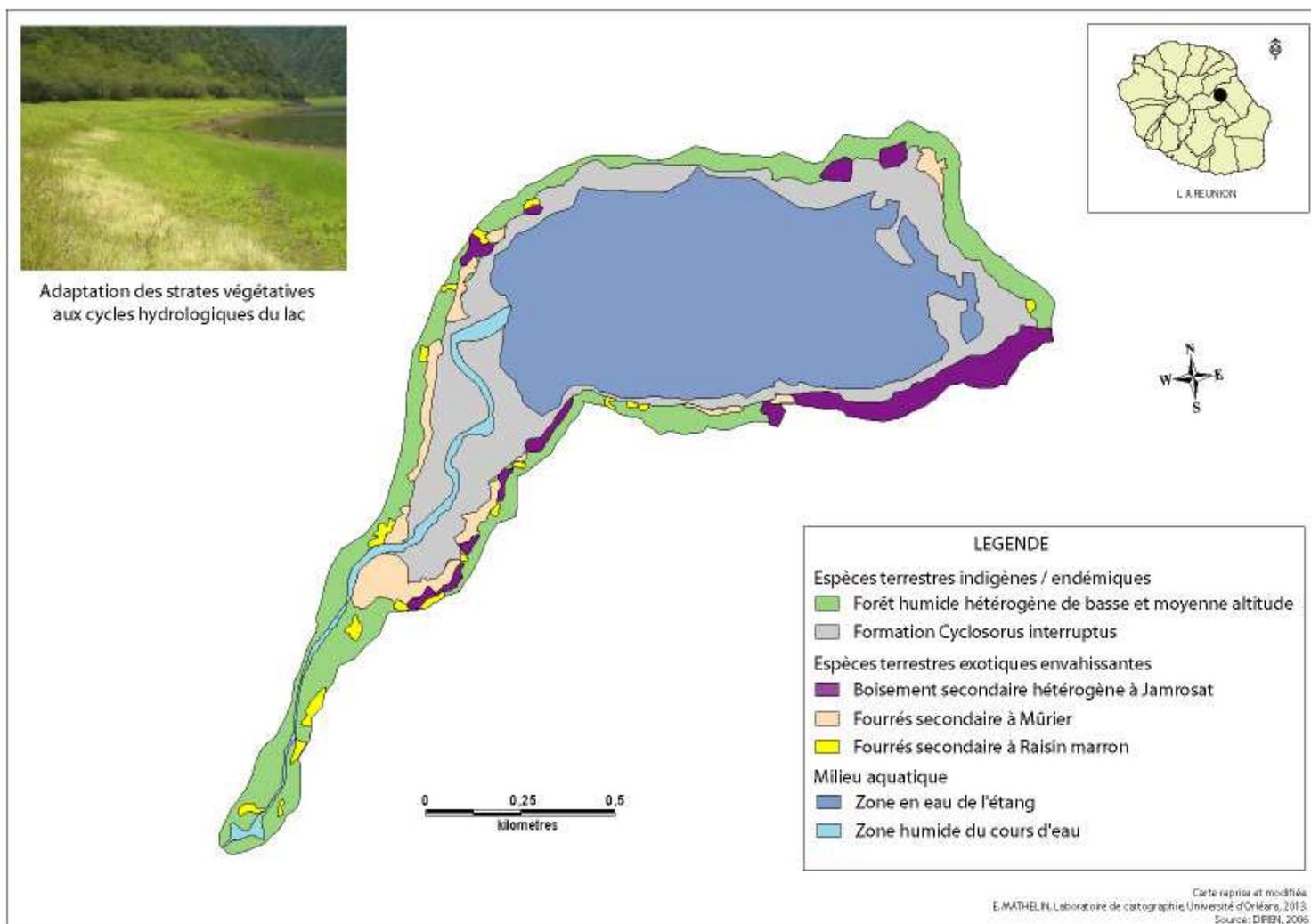


Figure 65 : Carte des formations végétales du Grand Etang



Figure 66 : La toposéquence du Grand Etang

A l'instar du Grand Etang, nous pouvons donc établir que les écosystèmes lacustres insulaires présentent une biodiversité exceptionnelle tant par la quantité d'espèces que par leur qualité avec la présence d'espèces endémiques rares. Chaque plan d'eau possède bien sûr ses spécificités, celui présenté n'est qu'un exemple de la richesse écologique mais les lacs côtiers avec l'influence maritime (Etang Saint Paul, Etang Bois Rouge à La Réunion) ou les lacs de cratère avec leurs conditions extrêmes (lac Dziani à Mayotte) constituent des particularismes qui accentuent cette biodiversité lacustre insulaire. Cependant celle-ci doit aussi faire face à des menaces tant naturelles (espèces exotiques...) qu'anthropiques (pollutions, dégradations, rejets...). La mise en place de réserves naturelles (Etang Saint Pau en 2009) pour certains lacs a permis de protéger ces zones mais la prise de conscience du potentiel de ces sites et la valorisation touristique reste très limitée (présence de quelques panneaux, absence de lieux d'observation, peu de sentiers botaniques).



Photographie 32 : La formation à fougères (*Cyclosorus interruptus*) à Grand Etang (Réunion)

3.3.3. Les menaces sur les écosystèmes.

Les lacs insulaires regorgent donc d'une immense richesse écologique encore peu valorisée à comparer avec certaines zones montagneuses dont les reliefs attirent les flots touristiques (Chamarel à Maurice, Piton de la Fournaise à La Réunion...) ou même à certaines zones littorales (Lagon de Mayotte) dont la protection et la valorisation absorbent une grande partie des investissements publics. Mais la richesse des écosystèmes lacustres insulaires se trouve aussi exposée à des menaces multiples qui pourraient provoquer, si les pouvoirs publics n'en prennent pas conscience, la disparition d'une partie de cette biodiversité. Parmi les menaces pesant sur ces écosystèmes fragiles, il semble important de distinguer les menaces d'origine anthropique, des menaces naturelles, les deux pouvant se combiner dans certaines situations.

Les menaces d'origine naturelle sont liées essentiellement à la présence d'espèces exotiques invasives. Ces dernières font partie à part entière des écosystèmes insulaires. Toutefois leur prolifération est accentuée par certaines actions humaines. La problématique des jacinthes d'eau (*Eichhornia crassipes*) (**photo.33**) à La Réunion traduit tout à fait la menace des plantes exotiques sur les écosystèmes. Originaires de l'Ouest du Brésil, cette espèce a rapidement colonisé les milieux aquatiques stagnants en particulier les étangs côtiers comme celui de Saint Paul ou du Gol dans lesquels la faible profondeur permet l'envahissement de la quasi totalité de la nappe d'eau. La présence de cette espèce a des effets néfastes pour les espèces animales ou végétales de l'écosystème car elle en modifie très largement les conditions physico-chimiques (diminution de l'oxygène dissous dans l'eau, diminution de la pénétration du rayonnement solaire, accentuation de l'évapotranspiration...). Les jacinthes d'eau se présentent comme des plantes herbacées qui prennent racine dans le substrat et flottent à la surface, constituant ainsi de vastes plaques végétales couvrant la nappe d'eau. Ce tapis végétal se trouve expulsé lors d'épisodes pluvieux exceptionnels comme les cyclones qui provoquent une augmentation du niveau du lac et une rupture du cordon littoral ou de vidanges volontaires comme celle constatée pour l'Etang du Gol, le 10 novembre 2009. Les plantes faiblement attachées dans le substrat se retrouvent évacuées en mer où elles forment de vastes tapis dangereux pour la navigation avant d'échouer sur les plages et de polluer le lagon. L'envahissement des masses d'eau pose un problème évident de gestion des lacs et étangs (pratique des activités nautiques réduite, pratique de la pêche impossible, dégradation des écosystèmes, dégradation paysagère...) qui se trouvent rapidement recolonisés malgré les épisodes exceptionnels. Les seules solutions trouvées demeurent le fauchage régulier qui ne peut s'effectuer que d'une manière manuelle étant donnée la taille des plans d'eau. Cette situation génère un coût de gestion supplémentaire qui décourage souvent les acteurs de la valorisation de ces zones qui préfèrent attendre que la « Nature fasse son œuvre ».

Les menaces d'origines anthropiques sont beaucoup plus nombreuses et diversifiées. Nous avons déjà pu observer l'impact de l'urbanisation sur les zones humides comme pour la côte nord-ouest de l'île Maurice²¹⁰ où la pression immobilière et la structure foncière poussent les personnes à assécher puis à vendre ces terrains considérés insalubres afin d'y construire des complexes hôteliers pour répondre aux besoins touristiques de l'île. Ce premier aspect basé sur la croissance démographique et le développement économique se retrouve dans l'ensemble des espaces insulaires observés où les zones humides situées sur le littoral sont l'objet de la convoitise des promoteurs, l'île de La Réunion avec l'exemple de l'Etang Saint Paul, malgré des mesures de protection, est

²¹⁰ Le Mauricien, 10/02/2012

soumis à la pression foncière et agricole favorisant l'assèchement de la zone marécageuse en amont du plan d'eau. A cette évolution de la masse d'eau s'ajoutent les changements observables au sein du bassin d'alimentation. La présence anthropique a bouleversé les écosystèmes indigènes du bassin de l'Étang Saint Paul (**fig.67**) qui se sont vus progressivement remplacés par des formations liées aux activités anthropiques comme les zones de canne à sucre ou la *Tamarinaie* de culture. Cette mutation des paysages influence les rythmes hydrologiques en modifiant les logiques d'interception et les surfaces d'écoulement. La disparition de formations primaires pour des formations dégradées favorise l'érosion à laquelle il faut ajouter certains événements anthropiques exceptionnels comme des incendies (Maïdo 2010-2011) qui ont accéléré ce processus de dégradation.

Les pollutions constituent aussi de véritables nuisances écologiques pour ces zones humides. La croissance de la population et le développement des activités agricoles et industrielles ont engendré une augmentation des rejets de produits polluants. Cependant la maîtrise et le traitement de ces rejets s'avèrent en retard et une grande partie de ces polluants se trouvent assimilés par la nature et se stockent dans les zones humides dont le rôle de filtre est ici tout à fait indispensable. Ainsi sur une étude réalisée en 2007 du BRGM²¹¹ concernant l'environnement et la qualité biologique des eaux de Mayotte, il a été relevé la présence d'importantes traces de produits phytosanitaires dans certaines zones humides. Bien que les deux principales retenues collinaires aient été épargnées, le lac de Kariani, zone humide de taille modeste, située sur la côte ouest de l'île, a fait l'objet de la recherche de 116 composés dont l'origine s'explique par l'utilisation sur l'île pour l'éradication de rats et de moustiques. Ces produits, largement utilisés lors de la crise de chikunya se sont accumulés dans les sols avant d'être évacués progressivement par les eaux de pluie. Leur stockage s'est ensuite effectué dans la zone humide en aval afin de réduire les rejets dans le lagon. La forte concentration de composés polluants dans cette zone s'explique aussi par la proximité du village de Combani qui produit lui-même des rejets et le niveau d'eau réduit qui limite le renouvellement de la masse d'eau. La pollution d'une telle masse d'eau n'ayant pas de vocation domestique ou agricole ne suscite que peu l'inquiétude des autorités compétentes mais elle doit d'ores et déjà attirer l'attention sur la dégradation des écosystèmes mahorais dans lesquels les pressions anthropiques restent modérées. Ce principe de concentration des polluants dans les zones humides sur les littoraux insulaires en démontre tout leur incidence mais aussi les dangers qui pèsent sur ces mêmes zones, ces dernières ne peuvent accumuler sans se dégrader de telles quantités de composés nocifs. La maîtrise des rejets grâce à des pratiques raisonnées et le traitement de ces rejets par la création de station d'épuration s'avère une priorité dans le cadre d'une gestion durable.

²¹¹ Amalric.L., 2007

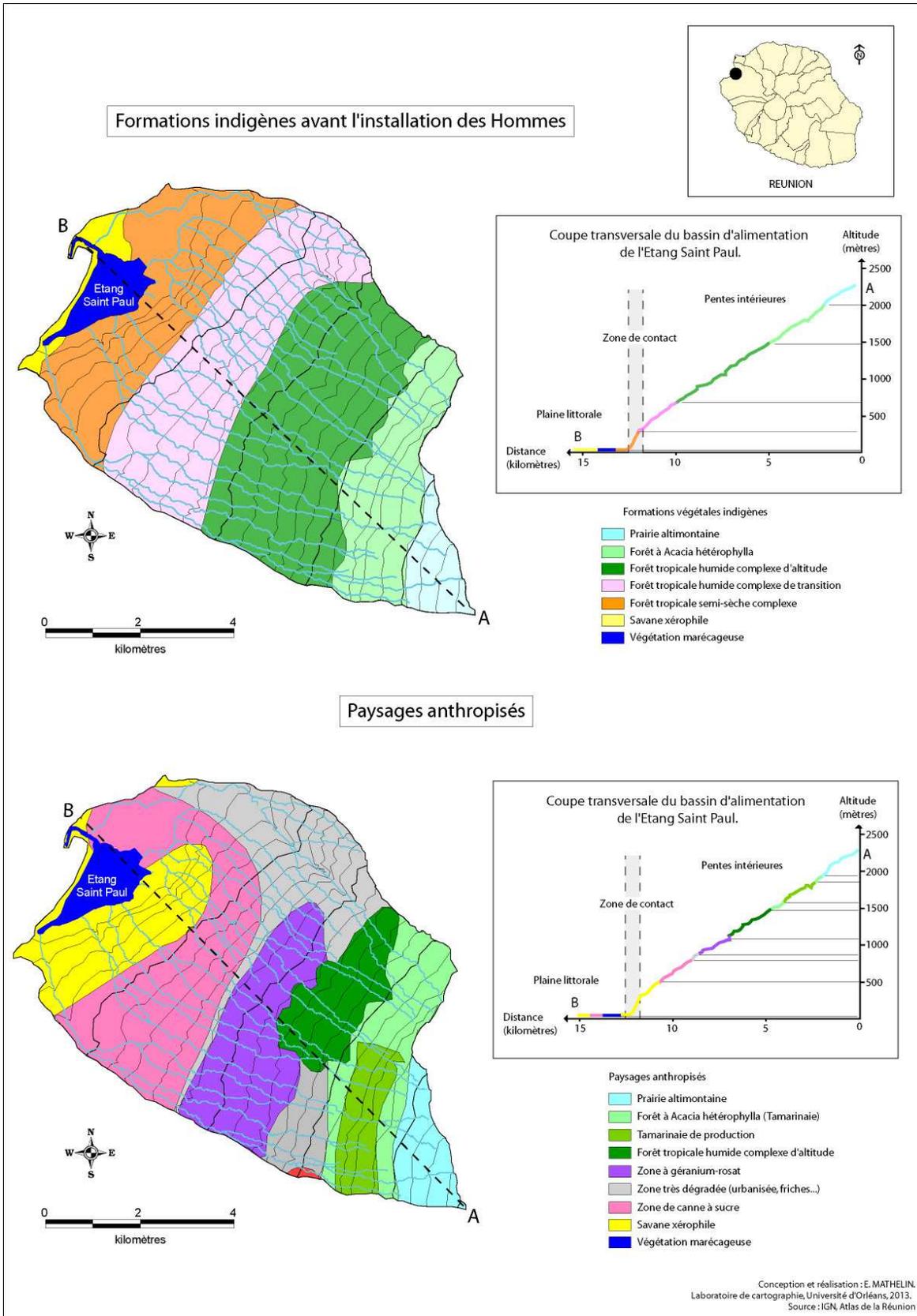


Figure 67 : Evolution des formations végétales du bassin d'alimentation de l'Etang Saint Paul (Réunion)

Les activités de pêche en eau douce peuvent constituer aussi une forme de nuisance plus diffuse mais pouvant devenir problématique. En effet l'ensemble des zones humides insulaires n'abrite pas des quantités importantes de poissons pouvant susciter une pression de pêche forte, cependant les zones humides littorales, du fait de leur relation avec les espaces maritimes constituent des espaces de refuge pour de nombreuses espèces de poissons et de crustacés. C'est dans ces zones fragiles où que ces activités sont les plus importantes. Malgré l'existence d'une réglementation précise, les activités halieutiques et le braconnage restent des pratiques courantes pour des populations habituées à des usages passés. L'exemple de l'Étang Saint Paul à La Réunion traduit cette situation, en effet l'étang a toujours été un point de ressource pour les habitants de Saint Paul à la fois pour la pêche en eau douce, la chasse des oiseaux ou l'utilisation des sous bois. La mise en réserve de ce territoire a remis en cause des usages passés provoquant l'incompréhension des populations. Ainsi l'interdiction de certaines zones et pratiques ainsi que l'obligation de posséder un permis de pêche afin de prélever des poissons dans le plan d'eau s'avère incompréhensible pour des pêcheurs qui ont toujours pratiqué leur activité sans réglementation. Les interventions des représentants de la police de l'eau restent trop réduites pour susciter des craintes et interpeller la grande majorité des contrevenants²¹². L'évolution des mentalités risque d'être longue pour mesurer les enjeux de cette préservation.



Photographie 33 : Envahissement de la mare de Cilaos par des Jacinthes d'eau douce
Cliché Mathelin, 2012

Les menaces observées sur les écosystèmes insulaires observés restent limitées au regard de certaines dégradations observables à l'échelle mondiale. Les menaces d'origine naturelle ont des impacts plus diffus et progressifs que les menaces anthropiques qui peuvent provoquer des perturbations vives et rapides des écosystèmes. Cependant, un constat semble évident, plus la

²¹² JIR, 15/06/2009

pression anthropique s'accroît, plus les menaces tendent à augmenter. On le constate en observant l'état général des zones humides sur les trois principales zones de recherche. L'île Maurice où les pressions sont les plus vives doit faire face à une dégradation avancée de ses écosystèmes trop longtemps laissés à l'abandon et les plans de sauvegarde actuellement mis en route ne permettront de sauvegarder les nombreuses zones humides disparues (**photo.34**). L'île de La Réunion avec ses reliefs plus accidentés possède des zones de pression importantes sur les littoraux d'où la mise en réserve de certaines zones humides côtières tandis que les zones intérieures soumises à moins de menaces se voient plus préservées. Enfin l'île de Mayotte avec un relief très vallonnée et un couvert forestier dense présente des zones humides encore relativement protégées mais les signes de la croissance démographique et du développement économique commencent à se faire sentir avec la dégradation des zones littorales plus exposées. Le développement décalé de ces écosystèmes peut aboutir à une logique d'évolution des zones humides insulaires afin de mieux en comprendre les enjeux et d'adapter les politiques de gestion.



Photographie 34 : Les restrictions du site de la Mare aux Vacoas (Maurice)

Cliché Mathelin, 2012

Conclusion partielle :

Cette troisième partie nous a permis d'observer les caractéristiques des lacs insulaires et d'en définir leurs spécificités.

Du point de vue morphologique, les lacs insulaires observés s'inscrivent dans des limnosystèmes étroits du fait de l'exiguïté des territoires. Les réseaux hydrographiques restent peu étendus et peu structurés aux regards de systèmes continentaux, l'intermittence des écoulements durant une partie de l'année traduit une influence tropicale. Le caractère montagneux de certaines îles comme La Réunion ou Mayotte influencent fortement les comportements des bassins d'alimentation dont les fortes pentes (supérieure à 15%) favorisent des transferts irréguliers et rapides des volumes d'eau et une érosion accélérée. Pour leur part les cuvettes lacustres sont en moyenne très étendues (140ha) mais cette valeur cache des disparités importantes entre les formations naturelles d'origine volcanique plus réduites comme les lacs de cratères (lac Dziani, 20ha) et les lacs anthropiques type réservoirs, plus étendus à l'instar des Midlands (298ha). A noter que les capacités de ces lacs réservoirs tendent à augmenter pour répondre aux besoins grandissants de la population. La position des lacs au sein des réseaux hydrographiques varie du lac situé en tête de bassin à des plans d'eau littoraux. Certains lacs, du fait de leur structure endoréique constituent des discontinuités d'écoulement jusqu'à la mer, dans les autres situations, le lac influence fortement son aval (variations de niveau) et cela se vérifie d'autant plus avec l'anthropisation de la structure. Les relations du plan d'eau avec son aval restent complexes car le lac constitue plus une discontinuité hydrographique qu'un continuum comme cela est observable sur les modèles continentaux.

L'influence hydrologique s'inscrit dans une dimension temporelle et spatiale. Les rythmes hydrologiques constituent une grande particularité de ces lacs du fait de leur caractère tropical et montagneux. A l'échelle interannuelle, les moyennes restent irrégulières du fait de la présence d'épisodes exceptionnels (cyclones) qui modifient les cycles dans leur amplitude et leur durée. Ils s'avèrent aussi des épisodes importants de morphogénèse. A l'échelle annuelle, le cycle lacustre se décompose en deux temps correspondant aux rythmes annuels des précipitations ce qui se traduit par des variations importantes de niveau (superficie et volume) qui ont des conséquences morphologiques et écologiques fortes. A une phase de remplissage soudaine liée à la saison des pluies correspond une phase de vidange progressive marquée par quelques ressauts liée à la saison sèche. Ces rythmes naturels se retrouvent dans les cycles de gestion des réservoirs. Les interactions

spatiales entre les différentes parties du limnosystème traduisent son intégration au réseau hydrographique. En effet les lacs restent fortement dominés par des bassins d'alimentation et très réactifs aux précipitations. L'influence spatiale de ces mêmes lacs en aval varie sensiblement entre une entité naturelle dont le fonctionnement est intégré aux hydrosystèmes naturels (restitution directe ou indirecte) au contraire des masses d'eau artificielles dont la vocation de stockage perturbe fortement l'aval en fonction des aménagements des réservoirs. Ces rythmes et ces interactions hydrologiques influencent la mise en place d'écosystèmes lacustres.

Les îles du sud-ouest de l'océan Indien bénéficient d'un climat tropical humide dans lequel se développent des écosystèmes riches et diversifiés. Cette biodiversité couplée à la structure insulaire favorise le développement d'un endémisme avec des écosystèmes primaires préservés et mondialement reconnus. A cet endémisme structural s'ajoute un endémisme plus spécifique lié aux espaces lacustres. En effet, nombre de lacs insulaires (Grand Etang, La Dziani,...) constituent l'aboutissement d'un réseau endoréique, du fait de leur morphologie d'origine volcanique. Ces lacs, enclavés au cœur d'un territoire isolé sont donc de véritables réservoirs de biodiversité. Leur protection est un enjeu majeur du développement durable. Ces écosystèmes riches mais fragiles doivent faire face à des menaces multiples du fait de l'introduction d'espèces exotiques invasives et des activités humaines, en particulier la question de l'urbanisation. Les zones humides et tout particulièrement les lacs se trouvent au cœur de cette question environnementale comme nous avons pu le constater pour l'île Maurice.

L'ensemble des éléments que nous avons observés principalement sur des entités lacustres insulaires d'origine naturelle, nous a permis d'établir une typicité des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien. Ce schéma basé sur les cas observés a pour finalité d'en déterminer les principales spécificités de ces lacs afin de mieux adapter les logiques de gestion des lacs réservoirs dont le développement s'accroît pour répondre aux besoins en eau douce.

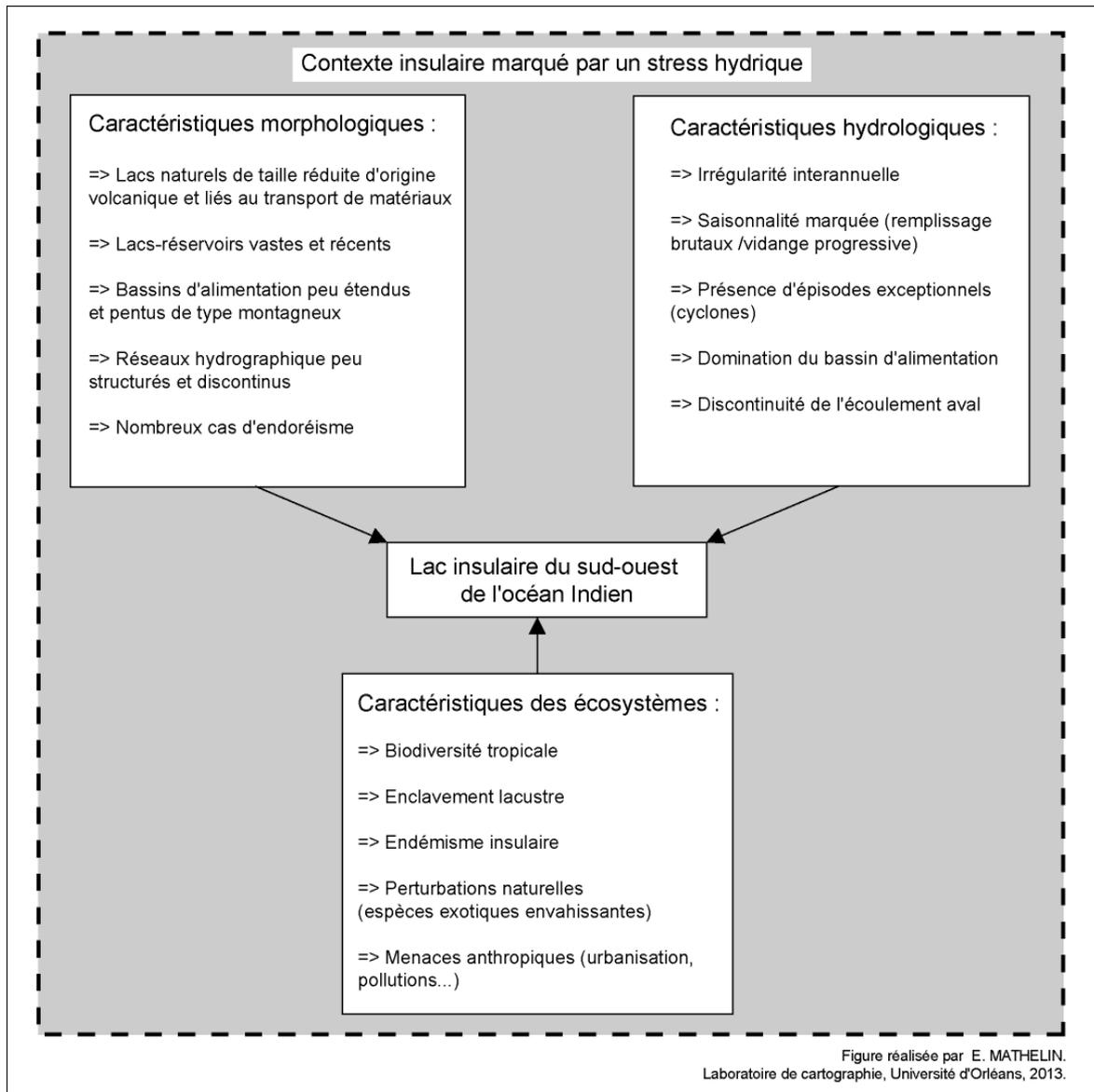


Figure 68 : Synthèse de la typicité des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien

4. Les logiques de valorisation des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.

La typicité de ces lacs mise en avant dans la troisième partie nous permet de disposer d'outils scientifiques pour réfléchir à l'élaboration de politiques de gestion et de valorisation adaptée. En effet les rythmes et comportements naturels de ces lacs vont servir de modèle à la gestion des entités anthropiques. La valorisation d'un espace est un processus visant à mettre en valeur un objet. Cette logique qui s'inscrit dans une démarche géographique d'aménagement répond à plusieurs paramètres (acteurs, politiques, contexte). La mise en valeur des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien impose de réfléchir à ces divers paramètres afin de déterminer les différents modèles de valorisation.

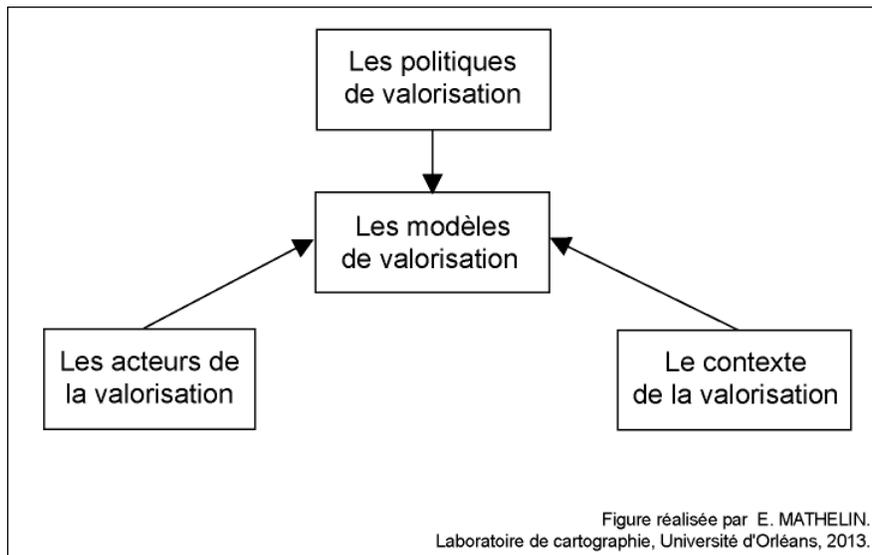


Figure 69 : Les logiques de valorisation des lacs insulaires dans le sud-ouest de l'océan Indien

Chapitre 4.1. Les acteurs de la valorisation lacustre : les spécificités insulaires.

La valorisation et la gestion des masses d'eau répond à un jeu d'acteurs qui se décline à différentes échelles institutionnelles allant du local à l'international. Cette combinaison d'acteurs a été envisagée dans le cadre d'un fonctionnement continental où l'emboîtement des collectivités territoriales est évident. Dans le cadre d'un espace insulaire, cette combinaison pose des difficultés car on constate des superpositions d'organismes institutionnels. L'analyse des acteurs de la gestion de l'eau va nous permettre de comprendre les spécificités insulaires mais aussi d'éventuels dysfonctionnements.

4.1.1. L'échelon national et international, l'impossible transposition.

Au niveau international, certains organismes internationaux influencent les politiques environnementales et touristiques des territoires, ce qui peut avoir des conséquences sur la politique de l'eau des territoires concernés.

En effet des organismes comme l'UNESCO, effectuent des recensements et des classements des territoires les plus remarquables tant sur le plan paysager, historique ou culturel. Les territoires retenus intègrent alors le classement très convoité du « Patrimoine mondial de l'UNESCO », véritable reconnaissance internationale, opportunité économique extraordinaire : un tel classement offre une notoriété mondiale et attirent des touristes du monde entier. Ce label a des impacts indirects sur l'ensemble des sites touristiques proches du ou des sites classés²¹³. Ainsi dans le cadre de La Réunion dont les cirques, remparts et pitons ont été classés en Août 2010 au patrimoine mondial de l'UNESCO (**photo.35**), la fréquentation touristique n'a été que partiellement influencée par ce classement²¹⁴ mais les conditions de valorisation imposées par l'UNESCO pour le maintien de ce label imposent des investissements et un suivi de ces territoires. Ainsi le Grand Etang de La Réunion, situé au cœur de la zone classée et dans le périmètre du parc national bénéficie des financements et des politiques de valorisation. Il en est de même pour l'ensemble des zones humides situées dans ces domaines classés. La Réunion n'est que le deuxième territoire ultramarin classé français au patrimoine de l'UNESCO après la Nouvelle Calédonie, cependant le sud-ouest de l'océan Indien regorge aussi d'autres territoires classés comme l'Aapravasi Ghat de Port Louis ou la montagne du Morne Brabant toujours à Maurice, preuve de la richesse écologique et culturelle de ces territoires.

De même la Convention RAMSAR de 1971 constitue t-elle un support spécifique pour les zones humides. En effet elle recense les zones humides d'importance internationale afin de mieux les valoriser et les protéger. Cette protection plus spécifique des zones humides concerne au même titre que le Patrimoine de l'UNESCO des sites situés dans le sud-ouest de l'océan Indien. Sur les territoires étudiés 4 sites²¹⁵ ont été reconnus d'importance mondiale par cette convention (3 à Maurice : Blue Bay, Pointe d'Esny²¹⁶, Rivulet Terre Rouge ; 1 à Mayotte : la vasière des Badamiers). Bien qu'aucun des lacs étudiés n'est pas fait l'objet d'un classement par la Convention Ramsar, la présence de 4 zones humides d'importance internationale sur des territoires aussi réduits montre tout le potentiel de ces îles.

²¹³ TE.ME.UM, 31/10/2010

²¹⁴ L'info.re, 01/08/2013

²¹⁵ <http://www.ramsar.org>

²¹⁶ Le Mauricien, 10/02/20102



Photographie 35 : Parc naturel de La Réunion

Cliché IRT, 2012

Au niveau national, c'est le gouvernement qui est le garant de la politique de l'eau au travers d'un ministère à qui est délégué à cette tâche. En France, le ministère de l'Ecologie organise les interventions dans ce domaine et se coordonne avec les autres ministères pour l'application des principales lois et décisions. Ce cadre général de la gestion de l'eau est défini en partie au niveau européen par l'intermédiaire de la Directive Cadre Eau (DCE) de 2000 qui influence ainsi les politiques nationales et l'organisation des acteurs. Néanmoins, ces mesures et ces normes définies dans une logique continentale et un environnement le plus souvent tempéré s'appliquent difficilement aux conditions insulaires tropicales, c'est pourquoi une grande partie des acteurs locaux s'efforcent de les adapter (en particulier en matière de suivi de la qualité des eaux) pour que celles-ci soit applicables aux espaces insulaires tropicaux. La problématique de l'inadaptation des normes européennes aux logiques continentales se retrouve dans divers domaines hydrologiques. Pour le contrôle de la qualité des eaux, les grilles de qualité ne s'appliquent pas à la zone tropicale. En effet, dans le cadre des IBGN (Indice biologique global normalisé), les taxons de référence ne correspondent pas aux écosystèmes insulaires marqués par un fort endémisme, il est donc indispensable de redéfinir une grille taxonomique équivalente comme le propose l'ARDA afin de déterminer et de pouvoir comparer la qualité des eaux insulaires.

Dans le cas de La Réunion et de Mayotte, l'application de ces directives et ces normes françaises et européennes se base sur les acteurs locaux (communes, associations) et régionaux (Département, Région...) mais l'Etat dispose aussi sur place d'organismes déconcentrés spécialisés comme le BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière) dont les compétences dans les Sciences de la Terre permettent d'intervenir dans de nombreux domaines, en particulier pour les questions de l'eau. A titre d'exemple, le BRGM apporte ses connaissances techniques et scientifiques dans le cadre de la gestion du risque « éboulis » qui affecte les vallées réunionnaises et provoque des

barrages temporaires se révélant dangereux pour les populations situées en aval. Le 17 Septembre 2010, le BRGM est intervenu dans le cadre d'un éboulis affectant la rivière du Mât à Salazie : 10 000 mètres cube de terre ont obstrué la rivière créant un lac temporaire d'une dizaine de mètres de hauteur et de 200m de long (**photo.36**). Les expertises du BRGM ont été indispensables pour déterminer la démarche à suivre et éviter une rupture brutale qui auraient détruit les habitations de la commune de Saint André en aval.



Photographie 36 : Eboulis de Salazie en 2010 formant un lac temporaire
Cliché Mathelin, 2010

Cette logique de transposition continentale ne se retrouve pas pour des pays comme l'île Maurice qui possède son propre gouvernement et définit donc sa politique de l'eau sans dépendre des normes européennes. Dans ce petit état insulaire, la politique de l'eau est gérée par le Ministry of Energy and Public utilities qui a en charge le suivi de la qualité des eaux et la distribution et afin d'en éviter les manques. Les réservoirs mauriciens sont gérés directement par le Gouvernement à travers le Ministry of Energy. Le contrôle du niveau d'eau de ces réservoirs s'avère stratégique comme il est possible de l'observer en saison sèche où la baisse progressive du niveau déclenche des seuils d'alerte et des restrictions en eau appliquées à l'ensemble de la population mauricienne. Dans le cadre de la préservation d'espaces naturels aquatiques, le Ministry of Environment and Sustainable Development fait valoir ses compétences mais la prise de conscience de l'importance de l'Environnement reste récente pour un territoire comme l'île Maurice qui aujourd'hui favorise son développement économique. Les nombreux scandales environnementaux, en particulier la dilapidation des zones humides pour la construction d'usines ou de complexes hôteliers conduit à une certaine prise de conscience mais l'application des lois environnementales reste encore problématique dans un contexte économique de développement exacerbé. Pour exemple, la

construction d'un centre commercial à Maurice²¹⁷ sur le site de Cap Malheureux au nord de l'île. Depuis mars 2012, à proximité d'un cimetière, lieu sacré pour les Mauriciens et d'une zone humide, le bâti associé la construction d'un parking représente un danger sur le plan écologique. Ces constructions à vocation touristique semblent s'effectuer sans les autorisations nécessaires et sans tenir compte des impacts environnementaux. Ce site n'ayant pas encore été recensé par les autorités mauriciennes comme wetland (zone humide), les promoteurs s'empressent d'effectuer les travaux en l'absence des documents nécessaires pour éviter les éventuelles interdictions inhérentes à ces zones sensibles. De telles pratiques suscitent la révolte des populations qui demandent aux autorités mauriciennes compétentes (District Council, Ministry of Environment and Sustainable Development et Ministry housing and lands) de justifier ses choix et d'invalider si besoin les travaux en cours tenant compte des nouvelles législations sur les Wetlands. L'île Maurice regroupe différentes organisations et associations de protection de l'environnement, dépendantes directement ou non du gouvernement (ONG). Parmi ces organisations non-gouvernementales, on retrouve l'Association pour le Développement Durable (ADD) ou Mauritius Wildlife fondation (MWF) qui oeuvre pour la restauration et la préservation de l'environnement dans le cadre d'une gestion durable. Il existe aussi des associations plus spécialisées comme Institute for Environmental and Legal studies dont le but est d'effectuer des recherches sur les interactions entre les sociétés et l'environnement et de sensibiliser aux menaces pesant sur les écosystèmes.

L'échelon national voire international favorise une réflexion globale sur les politiques de l'Eau mais ne semble pas le plus adapté pour dans le cadre d'une gestion d'un territoire hydrologique.

4.1.2. Le bassin hydrographique, un découpage hydrologique global.

La délimitation en bassins a été créée lors de la loi sur l'eau du 16 décembre 1964 afin d'établir un nouvel échelon de gestion, au plus près du bassin hydrographique. Il a été identifié en France métropolitaine six grands bassins hydrographiques (**fig.70**) auxquels correspondent six agences de l'eau et quatre offices de l'eau ont été créés dans les territoires ultramarins²¹⁸. Cet échelon géographique se compose d'agences de l'eau et de comités de bassin dont l'ensemble des actions est validé par un préfet coordonnateur. Ces organismes sont spécialisées sur les questions de l'eau, ils conseillent et financent de nombreux travaux visant à l'amélioration des milieux

²¹⁷LeMauricien , 11/03/2012

²¹⁸ Source : <http://www.eaufrance.fr/>

aquatiques, participent à l'élaboration du SDAGE, mènent des programmes pédagogiques dans le domaine de l'eau et regroupent l'ensemble des données hydrographiques. Pour leur part les comités de bassin ont pour mission principale d'élaborer le SDAGE et d'orienter la politique de l'eau du bassin. L'ensemble de ces actions étant validé par le préfet coordonnateur qui correspond à la préfecture où les comités de bassin ont leur siège

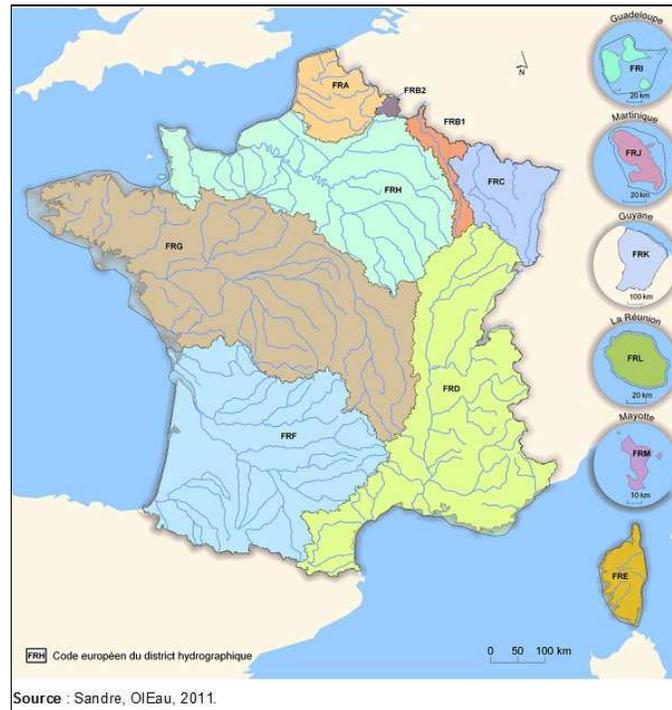


Figure 70 : Découpage hydrologique du territoire français

Dans le cadre des espaces insulaires étudiés, la délimitation en bassins ne concerne que les territoires français comme La Réunion et Mayotte. Concernant Maurice, le pays possède son propre découpage inhérent au réseau hydrographique insulaire. Pour l'outre-mer français, ce découpage en bassins hydrographiques paraît inadapté mais il répond à une réelle volonté de penser l'hydrosystème dans sa globalité. En effet les espaces insulaires ne se composent pas d'un seul bassin versant mais bien de plusieurs du fait de la logique des versants. La création de plusieurs agences de bassins au sein d'un département d'outre mer est bien sûr aberrant, c'est pourquoi les choix se sont portés sur la création d'un organisme global. Administrativement cette démarche est judicieuse mais du point hydrologique ce regroupement n'est pas forcément des plus adaptés à la réalité. Ce type de découpage marque tout à fait la difficulté à transposer les modèles continentaux sur les espaces insulaires. Pour l'île de La Réunion, la création de l'Office de l'eau remonte à 2003 consécutivement à la loi d'orientation sur l'outre-mer du 13 décembre 2000. Ces offices, au même titre que les agences de l'eau perçoivent les redevances concernant les prélèvements d'eau depuis

2006 mais dans le cadre de l'outre-mer, leurs prérogatives leur permettent de se substituer à certaines communes ou établissements publics dans des domaines qui lui sont spécifiques comme l'assainissement, la protection de la ressource en eau ou la restauration des milieux aquatiques. L'office de l'eau de La Réunion a contribué avec le comité de bassin à l'élaboration du SDAGE 2010-2015 dressant un état des lieux des hydrosystèmes insulaires et donnant les grands axes de la politique de l'eau. Pour l'île de Mayotte, récemment devenue département français, une réflexion est en cours pour la création d'un office de l'eau. Mais d'ores et déjà, un comité de bassin a été mis en place depuis 2005, ce qui a permis l'établissement d'un SDAGE 2010-2015 dont l'évaluation est en cours. Contrairement à La Réunion, Mayotte accuse un certain retard en matière de politique de l'eau et d'infrastructures, ce qui explique le nombre encore réduit de projets.

La mise en place du SDAGE de Mayotte traduit tout à fait le développement de la politique de l'eau dans les territoires ultramarins français ainsi que la place accordée aux zones humides et plus particulièrement les lacs au sein de ces hydrosystèmes insulaires. Le SDAGE 2010-2015 de Mayotte connaît sa première phase d'évaluation (**fig.71**) afin d'établir les mesures supplémentaires à y apporter. Parallèlement l'année 2013 sera marquée par le début de la rédaction du SDAGE 2016-2021²¹⁹ dont l'approbation après enquête publique devrait être effective à partir de décembre 2015. Le SDAGE actuel de Mayotte laisse apparaître les axes de la politique de l'eau mahoraise, à savoir des choix portant essentiellement sur les zones côtières et sur les enjeux pesant le lagon. La part accordée aux eaux intérieures et plus particulièrement aux plans d'eau comme le lac Dziani, Combani et Dzoumogné reste réduite, du fait du manque de données de suivi mais aussi d'un attrait touristique réduit. Aucune politique de valorisation n'est établie, le seul objectif étant la préservation voire l'amélioration des données qualitatives de ces plans d'eau. Cette approche démontre ici, contrairement à La Réunion que ces plans d'eau ne restent considérés que comme des espaces ressources mais que la richesse des écosystèmes s'y développant n'a pas encore été reconnue, ni validée faute de recherches approfondies. En matière de politique de l'eau, l'île de Mayotte reste un territoire en développement nécessitant des moyens importants pour accroître la connaissance des masses d'eau et en identifier les écosystèmes remarquables.

²¹⁹ Source : <http://www.mayotte.pref.gouv.fr>

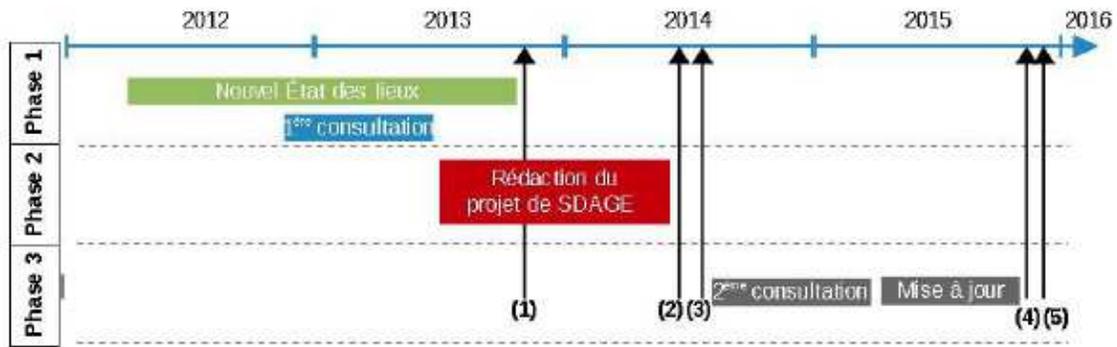


Figure 71 : Calendrier du SDAGE de Mayotte

A l'échelon du bassin hydrographique se superposent d'autres échelons administratifs (Département, Région) pourtant basés sur un même découpage territorial. On assiste ici à un empilement des strates administratives, caractéristique de la transposition d'un modèle inadapté.

4.1.3. Département et Région, deux acteurs pour un même territoire.

Cet échelon correspond à la subdivision d'un territoire en plusieurs entités pour lesquelles le gouvernement central transfère une partie de ses compétences. En France, cela correspond aux régions, elles-mêmes subdivisées en départements. L'échelon départemental et régional regroupent de nombreux acteurs intervenant sur la question de l'eau. Dans le cadre de Maurice, le territoire est lui-même subdivisé en districts et dépendances dont le rôle en matière de politique de l'Eau reste consultatif du fait de la centralisation du pouvoir. Nous concentrerons dès lors notre analyse sur le cas français, concernant Réunion et Mayotte, où les compétences de l'Etat sont déconcentrées.

Au sein de ces subdivisions du territoire français (régions et départements), les compétences en matière de politique de l'eau se répartissent entre les divers acteurs. Le conseil général est le principal organisme capable d'apporter l'aide et le soutien nécessaire aux communes en matière d'assainissement et de distribution en eau. Le Département possède à sa disposition divers services capables d'intervenir dans des domaines très spécifiques (Mission Inter Services de l'Eau, Office de l'eau,...). L'ensemble de ces actions est coordonné par le Préfet. Il joue un rôle indispensable en matière de gestion des risques naturels dont il définit la politique globale (Dossier Départemental des Risques Majeurs). Par opposition, la Région ne possède pas de compétences spécifiques mais sa démarche peut s'inscrire dans une politique volontariste qui lui permet d'intervenir sur certains dossiers grâce aux organismes qui dépendent d'elle comme la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), l'Agence régionale de la santé (ARS) ou la Direction régionale de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt (DRAAF).

Dans le cadre des espaces insulaires étudiés, cet échelon administratif revêt une dimension particulière, comparé aux espaces continentaux. Pour la France, ces espaces ultramarins correspondent à la terminologie des Départements et Régions d'outre-mer (DROM) ou Collectivités d'outre-mer (COM), chaque statut caractérisant un degré de relation plus ou moins affirmé avec la métropole. Dans le cas de La Réunion et de Mayotte, nous avons à faire à deux départements depuis 1946 et 2011, pour lesquels la législation française s'applique au même titre que sur le territoire métropolitain. En plus du statut de département, ces deux espaces insulaires possèdent aussi le statut de région française, ce qui crée une superposition d'échelons administratifs sur un même territoire et complexifie les politiques de gestion. Ce double statut constitue une particularité des départements ultramarins français. Des territoires insulaires aussi étroits ne peuvent disposer de l'ensemble des institutions ; des adaptations ont été réalisées pour correspondre aux besoins locaux. Dans le cadre de la politique de l'eau, cette superposition de maillages administratifs a imposé un partage des compétences pour éviter une double action. Ainsi, la gestion et la protection des espaces naturels sensibles incombe au Conseil Général tandis que la valorisation touristique des espaces remarquables dépend du Conseil Régional. Par exemple, la valorisation de l'Etang Saint Paul qui a consisté à dégager les canaux de l'étang pour favoriser le retour de certaines espèces animales a été financée en partie par le Conseil Général en vertu de sa compétence sur l'Environnement au titre de la préservation des espaces naturels. Concernant le Grand Etang, dans le cadre de la valorisation du site, celui-ci a bénéficié d'un financement du Conseil Général pour les travaux de viabilisation du sentier faisant le tour du plan d'eau au titre de la protection de la valorisation des espaces naturels sensibles tandis que l'entretien des axes de communication menant à ce lieu retiré est assuré par le Conseil Régional au titre du Développement économique et touristique. Nous observons ici un partage de compétences qui peut aussi s'avérer conflictuel en cas de superposition des champs d'action.

Aux acteurs institutionnels départementaux et régionaux s'ajoute un important tissu associatif qui jouent un rôle prépondérant dans la gestion des espaces naturels sensibles et plus particulièrement pour les zones humides. Ces associations, la plupart de type loi 1901, sous la responsabilité de la Préfecture, s'inscrivent dans des domaines très variés (protection de l'environnement, aquaculture, pêche...) et se composent d'usagers fortement impliqués dans la vie locale. Parmi ce tissu associatif, les associations de protection de l'environnement sont les plus intéressées par la problématique des zones humides. Malgré des moyens souvent réduits, ce type d'association possède une connaissance des lieux ainsi que des problématiques qui en font des partenaires indispensables. A La Réunion, l'Association réunionnaise du développement de

l'aquaculture (ARDA)²²⁰, créée en 1991, est aussi une association à loi 1901 dont le but est l'étude, la valorisation et la gestion durable des ressources aquatiques tropicales (**photo.37**). Elle possède depuis 2007, le statut de centre de ressources technologiques (CRT), et mène ainsi des études sur les milieux aquatiques locaux. Elle joue un rôle pédagogique indispensable avec son pôle Education pour la préservation des milieux aquatiques. Autre association intervenant activement dans la préservation des zones humides réunionnaises, la Société réunionnaise pour l'étude et la protection de l'environnement (SREPEN) créée en 1970 et placée sous l'autorité du Préfet de La Réunion. Elle a pour mission l'amélioration des connaissances du milieu naturel réunionnais et participe activement à la préservation de plusieurs sites comme la réserve naturelle de la Roche écrite. Elle organise de nombreuses interventions pédagogiques pour sensibiliser les enfants aux enjeux du développement durable (visite du site de Grand Etang ou de l'Etang Saint Paul). Elle est rattachée à des réseaux internationaux d'associations de protection de l'environnement comme l'Union internationale de conservation de la Nature (UICN) ou World Wild Foundation (WWF). A Mayotte, les huit associations de protection de l'environnement se sont regroupées en 2011 pour constituer une seule association, composée de plus de 1050 adhérents, Mayotte Nature Environnement (MNE), qui est rattachée à un groupe associatif national France Nature Environnement (FNE). MNE intervient dans la plupart des dossiers environnementaux concernant l'île pour défendre son patrimoine naturel. L'ensemble de ces associations participent aux différents dossiers où leurs compétences sont requises. Ces derniers peuvent donner leur avis pour certains aménagements et influencer des plans de gestion globale.



Photographie 37 : Site de l'ARDA (Réunion)

Cliché ARDA, 2012

²²⁰ Site de l'association (<http://www.arda.fr/>)

4.1.4. La commune, un acteur de proximité.

L'échelle communale constitue le premier seuil local administratif en matière de gestion des eaux. La commune au travers de son principal représentant, le maire, est responsable de la politique de l'eau menée sur son territoire. Le maire intervient dans divers domaines en matière de gestion des eaux, en informant les usagers sur la qualité des eaux distribuée mais aussi dans le cadre de la gestion des risques naturels et technologiques liés à l'eau. Il peut aussi faire appel à des organismes spécialisés pour certaines questions techniques ou faire effectuer des prestations par des entreprises privées. Le maire est aussi le représentant de l'Etat et à ce titre, il exerce des pouvoirs de police générale sur le territoire communal en mettant en place des arrêtés réglementant certaines activités (pêche, activités nautiques, pollutions...) ou en prenant des décisions de portée générale (création d'aménagement contre les crues, réhabilitation de berges, valorisation de plans d'eau...). Les communes jouent un rôle essentiel dans le cadre de la politique de l'eau et aussi de la préservation des espaces naturels en élaborant le Plan local d'urbanisme (PLU) qui va déterminer l'usage des sols. Dans le cadre d'une meilleure gestion et afin de réduire certaines charges, elles peuvent se regrouper en structure intercommunale et déléguer les compétences en eau à certains services ou entreprises spécialisées.

Dans le cadre des espaces insulaires de l'océan Indien, cette délimitation communale se retrouve sur les territoires français comme sur l'île de La Réunion ou Mayotte. Les communes ultramarines françaises se caractérisent par des superficies plus élevées que leurs homologues métropolitaines comme le prouve la superficie moyenne des communes de Mayotte 21,95km² alors que la moyenne nationale est de 14,88km²²²¹. Cette particularité pose bien sûr des problèmes en matière de gestion étant donné que la morphologie des territoires communaux s'avère très hétérogène allant des zones littorales aux parties montagneuses intérieures. Pour l'île Maurice, l'échelon communal correspond aux différentes villes elles-mêmes dépendantes des Districts. Mais étant donné la taille réduite de cet état, l'ensemble des compétences reste centralisé à la capitale Port Louis où siège le Gouvernement.

Pour la question de la gestion de l'eau, ces vastes territoires dont les limites détendent des montagnes au littoral, constituent une chance en matière de ressources, et un véritable casse tête en matière de distribution, alourdissant un peu plus les budgets des communes en charge des réseaux. La création d'aménagements de type retenue collinaire (réservoir de Combani ou Dzoumogné) capables d'effectuer des stocks importants en période des pluies se prêtent tout à fait à ces morphologies communales. Ainsi, les communes répondent de plus en plus au manque d'eau par

²²¹ Source : INSEE

ces structures situées dans les parties hautes des communes. Dans ce contexte, les zones humides constituent des composantes secondaires face à l'urgence des besoins en eau, ce qui explique pourquoi nombre d'entre elles sont mises à l'écart ou non valorisées. Seules les zones les plus remarquables (Etang Saint Paul, Etang du Gol, Grand Etang) bénéficient d'une valorisation communale dans le cadre d'une préservation ou d'un espace touristique.

La gestion de l'Etang de Saint Paul à La Réunion est un bon exemple de l'implication possible des acteurs communaux dans la préservation et la valorisation des zones humides remarquables de certains espaces insulaires. En 2009, la commune de Saint Paul, située sur la côte ouest de La Réunion, a obtenu en accord avec l'Etat et le Département, la gestion complète des 447 hectares de l'Etang Saint Paul, classé en réserve naturelle en 2008. Cette zone humide est la mieux conservée et la plus vaste des Mascareignes mais nécessite un plan de sauvegarde important vis à vis des nombreuses menaces auxquelles elle se trouve exposée. Espace où se conjugue de multiples activités comme le ski nautique, la baignade, pêche, agriculture, les pique-nique... l'Etang Saint Paul possède de nombreux attraits et les organismes communaux dorénavant gestionnaires vont devoir clarifier les usages et établir des zonages stricts pour éviter les débordements et les nuisances. Au-delà de cette problématique d'usage, ce lac est aussi exposé à des fortes menaces de nature environnementales avec le risque d'envahissement, dû à la présence de certaines espèces qui accélère la disparition du plan d'eau et accroisse le risque d'inondation des berges. Ce plan d'eau doit aussi faire face aux multiples pollutions et braconnages liés aux usages locaux. La pose de casiers, le déversement de gravas, la coupe de bois sont autant d'habitudes prises par les riverains qui aujourd'hui mettent en danger les lieux face à l'augmentation de la population. Pour éviter la disparition d'une telle zone humide, la mise en place de moyens réglementaires comme la réserve naturelle (2008)²²² va permettre de réduire ces usages sur la zone protégée mais c'est bien un changement des comportements d'une manière globale qui pourra permettre de préserver l'ensemble de la zone humide. Afin de permettre un tel changement, la mairie a embauché neuf éco-gardes dont la mission est la préservation du site mais aussi l'éducation à l'environnement des populations locales. Malgré cela la valorisation d'un tel site demeure très progressive demandant des moyens toujours importants, ce qui a tendance à mettre en difficulté des gestionnaires communaux dont les budgets imposent de faire des choix répondant à des logiques de court terme mais aussi électoralistes.

²²² Vincent Boyer , 2009

La présence de ces multiples acteurs à différents niveaux montre la complexité de la gestion des zones humides et lacustres et plus généralement de la ressource en eau. Mais la présence de tous ces acteurs ne prend corps qu'au travers des politiques de gestion et de valorisation menée.

Chapitre 4.2. Les politiques de gestion des lacs insulaires : des rythmes naturels à l'artificialisation des fonctionnements lacustres.

Gérer un territoire impose de faire des choix pour des raisons politiques, économiques ou environnementales. La situation des lacs insulaires s'inscrit dans cette logique car nous constatons au fur et à mesure de cette étude l'existence d'une véritable gradation dans la logique de valorisation allant de l'abandon de la zone humide à une véritable sacralisation. Il est donc indispensable de comprendre les procédures et les logiques menant à de telles politiques

4.2.1. L'absence de gestion et l'abandon.

L'abandon d'un site correspond à un choix de la collectivité de refuser de mettre en valeur un territoire pour des raisons qui peuvent être multiples. Cette volonté d'abandon peut être justifiée par un manque de moyens financiers, expliquant le report de crédits vers un autre site, par un manque d'intérêt écologique ou tout simplement par un choix politique visant à valoriser un lieu vis à vis d'un autre.

L'abandon d'une zone humide est un acte assez fréquent du fait de la dimension a priori repoussante du lieu. L'entretien de tels lieux est souvent coûteux, c'est pourquoi de nombreuses collectivités décident d'utiliser certains de ces terrains plats pour des constructions après avoir effectué les travaux de drainage ; marquant la mort de la zone humide. Ces pratiques restent fréquentes sur les littoraux comme pour l'île Maurice où les besoins de terrains incitent à sacrifier ces espaces indispensables aux hydrosystèmes. Dans le cas de plans d'eau, l'abandon du site est souvent plus délicat, en effet abandonner une masse d'eau située sur un espace public²²³ sans sécuriser le site exposerait la collectivité à un danger évident avec certains usagers qui tenteraient de profiter de la masse d'eau par diverses pratiques et s'exposeraient à des risques de noyade. Le cas de Dziani Dzaha, lac de cratère volcanique à Mayotte incarne tout à fait cette logique de gestion a minima avec un simple sentier faisant le tour du cratère (**photo.38**). Malgré l'exceptionnalité du

²²³ Ce cas se retrouve assez fréquemment dans le cadre des carrières d'exploitation qui à la fin du processus d'exploitation se remplissent d'eau et deviennent alors des plans d'eau pas toujours sécurisés.

site du point de vue géomorphologique, la présence d'une eau chargée en soufre à laquelle s'accompagne une odeur nauséabonde ne contribue pas à la valorisation touristique. Ce lac, véritable curiosité géologique et limnologique reste bien à l'écart des stratégies touristiques à comparer au lagon dont les eaux turquoises, les plages et les nombreuses activités marines attirent majoritairement les touristes et s'affichent sur l'ensemble des supports publicitaires de l'île. Cependant dans le cas de plans d'eau artificiels de type réservoir, l'abandon du site pose problème car les digues constituant la rupture de pente du plan d'eau restent des ouvrages fragiles face aux phénomènes naturels. En effet ces réservoirs s'ils se trouvent abandonnés risquent de voir la digue se rompre et provoquer une crue brutale capable de faire des victimes. Cette situation est d'autant plus vraie dans le contexte des espaces insulaires où les pluies tropicales soudaines fragilisent les réservoirs. En cas d'abandon, ceux-ci sont vidangés ou détruits mais la forte demande actuelle en eau pousse plus à la création plutôt qu'à la destruction. Cette situation d'abandon de réservoirs ou de ruptures de digues suite à des défauts d'entretien n'a pas été constatée sur la zone d'étude.



Photographie 38 : L'entrée du sentier du lac Dziani (Mayotte)

Cette stratégie de gestion a minima peut avoir deux types de conséquences opposées. Dans le cadre d'un espace fortement convoité, l'abandon d'un site contribue le plus souvent à sa disparition comme le montre le mitage progressif observé sur l'Etang Saint Paul à La Réunion dans les parties amont de la zone humide avant le classement en réserve naturelle. Ces zones planes peu facilement exploitables dans leur configuration marécageuse ont été drainées afin de les convertir en zones d'habitation ou en zones agricoles. La prise de conscience de l'importance de la zone humide de Saint Paul et de sa richesse écologique dans les années 2000 a mis fin à ce mitage progressif.

Concernant des plans d'eau isolés pour diverses raisons (relief, manque de voie de communication, croyances...), l'abandon ou l'absence de gestion peut aussi constituer une chance car il réduit la présence humaine et limite le contact avec des espèces exotiques envahissantes. Cette situation crée

des conditions exceptionnelles à la préservation d'un endémisme. Ce n'est pas le cas des masses d'eau importantes comme celles étudiées jusqu'à présent mais plutôt celui des masses d'eau plus réduites inférieures ou proches de un hectare pour lesquelles la végétation peut rapidement constituer une protection dense. Ainsi la Grande Mare située au cœur de la forêt de Bélouve à La Réunion est une zone humide réduite (2,25ha) répertoriée par l'inventaire de la DIREN en 2003 (**photo.39**). Le faible intérêt et le manque d'accessibilité de ce territoire (accès seulement à pied) ont contribué à son délaissement ainsi qu'à une absence de suivi régulier. Nous avons donc à faire à une zone humide marquée par une gestion a minima (entretien du sentier d'accès) et isolée des pressions anthropiques. Malgré son faible intérêt écologique actuel, cette zone humide présente un réservoir potentiel de biodiversité avec des espèces végétales endémiques typiques (*Eriocaulon striatum* et *Laurembergia veronicaefolia*) s'épanouissant dans cet écosystème hydromorphe²²⁴. La dégradation actuelle des écosystèmes insulaires soumis à de fortes pressions pourraient permettre à de tels sites aujourd'hui isolés de devenir à long terme des lieux à fort intérêt écologique leur permettant un véritable suivi scientifique et une possible mise en réserve.



Photographie 39 : Mare de Bélouve (Réunion)

Cliché Mathelin, 2013

4.2.2. Le suivi scientifique de l'évolution du lac.

Le suivi scientifique d'un plan d'eau correspond à la volonté d'établir un profil, une carte d'identité de la masse d'eau. Il constitue une démarche scientifique amenant à une connaissance plus ou moins approfondie à partir d'un corpus de mesures réalisées manuellement ou automatiquement. Pour les plans d'eau, ce suivi est indispensable tant pour connaître son volume pour des réservoirs dédiés aux besoins domestiques (réservoirs mauriciens comme la Mare aux

²²⁴ Lacoste.M, Delbosc.P, Picot.F, 2011, p48-49

Vacoas ou les Midlands) que pour identifier une dégradation des écosystèmes liée à des pollutions dans le cadre de réserves naturelles (Etang Saint Paul, Grand Etang...). La plupart des plans d'eau observés connaissent un plan de suivi scientifique plus ou moins approfondi en fonction des moyens financiers et techniques et leur intérêt. Un plan de suivi se définit selon deux axes : la fréquence d'observation et le type de données relevées.

La fréquence d'observation correspond au nombre de fois où l'on effectue des observations sur la masse d'eau. Celles-ci peuvent s'effectuer lors de campagnes de mesures sur site avec un ensemble de protocoles permettant de relever diverses données (hauteur d'eau, débit, transparence de l'eau, taux d'oxygène, taux de MES...) mais une telle procédure ne donne qu'une vision partielle du fonctionnement de la masse d'eau car il est rare que les campagnes de mesures coïncident avec certains phénomènes exceptionnels ou remarquables de la vie la vie du plan d'eau. Ainsi lors d'épisodes exceptionnels comme un cyclone, les stations de mesure ne sont plus accessibles voire dépassées, donc les agents en charge des mesures effectuent des estimations en particulier pour les cotes d'eau comme cela a été le cas pour le Grand Etang où le cyclone Dina (2002) avait submergé tous les dispositifs de mesure (**photo.40**). Les phénomènes exceptionnels s'en trouvent alors souvent surévalués. Les campagnes de mesure ponctuelles correspondent le plus souvent à des plans d'eau dont l'intérêt (scientifique ou économique) est modéré ou tout simplement à un manque de moyens du gestionnaire comme cela est le cas pour les réservoirs de Combani ou Dzoumogné dont les mesures sont effectuées une fois par mois malgré l'importance stratégique de ces réservoirs pour l'alimentation en eau de la région. Des dispositifs d'enregistrement continu ont été mis en place pour un suivi continu de nombreuses données. Ces stations limnimétriques pour les plans d'eau ou simple station de jaugeage pour les cours d'eau enregistrent principalement les hauteurs d'eau. Dans le cadre de l'Etang Saint Paul, cet enregistrement continu permet le déclenchement d'une cote d'alerte pour éviter l'inondation des zones alentours du plan d'eau. Au-delà d'une cote critique, les agents communaux procèdent à l'ouverture du cordon littoral au moyen d'un tractopelle. De tels dispositifs se révèlent exceptionnels pour un suivi scientifique mais leur coût élevé en limite le nombre. Cependant un même plan d'eau peut regrouper plusieurs stations de mesure mais il est rare que chaque station regroupe les mêmes protocoles de mesure : les moyens financiers des gestionnaires imposent souvent des choix scientifiques. Le même exemple de l'Etang Saint Paul est tout à fait représentatif, car ce plan d'eau regroupe pas moins de 9 stations d'observation situées à la fois dans la masse d'eau et sur ses affluents. Ces données se révèlent particulièrement denses car la

station de mesure la plus ancienne située au lieu dit Pont métallique date de 1982 et regroupe à ce jour plus de 16 000 données sur les niveaux et la qualité des eaux du lac²²⁵.



Photographie 40 : Grand Etang (Réunion), inondé et inaccessible en saison humide
Cliché Mathelin 2007

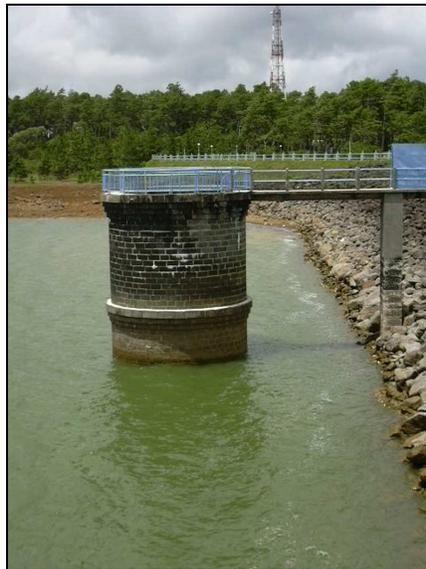
Un suivi scientifique se définit aussi corrélativement selon le type de données relevées. La batterie de mesures effectuées par station d'observation varie très largement selon l'intérêt consacré au plan d'eau. Les mesures vont des simples relevés quantitatifs comme la mesure d'un niveau d'eau à partir d'échelle limnimétrique pour connaître le volume d'une masse d'eau à des mesures plus complexes à vocation qualitative (taux d'oxygène, matières en suspension, présence de sulfates...). La mesure du volume peut correspondre à une donnée extrêmement stratégique pour des plans d'eau comme les réservoirs mauriciens où la distribution de l'eau potable dépend directement de ces masses. L'observation du niveau permet d'établir des cotes d'alerte. Ainsi les réservoirs mauriciens connaissent un suivi très précis et réguliers de ce niveau qui constitue une donnée stratégique. Depuis plusieurs années les niveaux de remplissage étaient extrêmement faibles (35,3% de leur capacité en juin 2011)²²⁶ avec des saisons des pluies insuffisantes pour permettre le retour à une cote maximale (**photo.41**). Ces seuils particulièrement bas suscitent de vives inquiétudes pour la population soumise à des restrictions et imposent aussi au gouvernement (Central Water Authority, CWA) d'effectuer les travaux nécessaires (raccordement des réservoirs entre eux) pour éviter une pénurie totale et catastrophique pour le pays²²⁷. Les forts épisodes pluvieux ayant affecté l'île Maurice en 2013 ont permis de pallier ce déficit mais ont aussi malheureusement déclenché d'importantes inondations. En plus de la maîtrise des données quantitatives, la connaissance de la qualité de l'eau s'avère un indicateur indispensable pour les

²²⁵ Source : Office de l'Eau Réunion

²²⁶ Source : CWA

²²⁷ Le Matinal, 18/01/2012

gestionnaires dans le cadre de la maîtrise de la ressource en eau en milieu insulaire, ainsi des analyses de la composition chimique sont réalisées ponctuellement par des organismes habilités (DREAL, DDAF, OLE...), s'ajoute l'observation des écosystèmes, en particulier des macro-invertébrés, véritables indicateurs de la santé des écosystèmes. Ces pratiques sont fondamentales pour les plans d'eau situés dans des aires protégées (Grand Etang situé au sein du Parc national des Hauts) ou les plans d'eau soumis à des contraintes d'urbanisation (Etang Saint Paul, exposé à des rejets multiples comme ceux liés à l'aquaculture et aux défaut d'assainissement). Cette observation affinée permet de mieux justifier le statut de ces masses et les politiques de gestion menées. Les champs des données constatées sur les hydrosystèmes est particulièrement vaste mais leur coût est élevé. Les gestionnaires se doivent donc de faire des choix de représentativité afin d'établir un profil des plus précis des masses d'eau à leur charge.



Photographie 41 : La Mare aux Vacoas (Maurice), à un niveau e remplissage critique

Cliché Mathelin, 2012

A partir de l'analyse du principe du suivi scientifique et des observations de terrain, nous avons pu donc établir une gradation dans le suivi scientifique des plans d'eau insulaires présents sur notre zone de recherche. Cette stratégie de suivi correspond principalement à des logiques économiques mais il traduit aussi le rapport des populations à cette ressource en eau.

Le premier type de suivi identifié correspond à un suivi scientifique de base avec des campagnes de mesure ponctuelles pour des données à la fois quantitatives et qualitatives de l'eau. Cette situation correspond à des réservoirs comme ceux de Combani ou Dzoumogné à Mayotte où la politique de l'eau est en train de se mettre en place. Les infrastructures restent déficientes et les gestionnaires

possédant des moyens réduits veillent au plus pressé. Le suivi des plans d'eau est ponctuel²²⁸ et ne permet que d'établir difficilement un profil. La politique de suivi s'apparente à celle de pays en développement. Mais l'obtention récente du statut de département français pour Mayotte pourrait permettre un rattrapage rapide dans les années à venir.

Le second type de suivi observé correspond à une observation continue du plan d'eau en particulier dans le but d'observer des données quantitatives pour évaluer le volume de la masse d'eau. Cette logique purement hydrographique s'applique aux réservoirs mauriciens dont les nombreux plans d'eau représentent une ressource stratégique. L'eau n'est ici envisagée qu'un tant que bien de consommation, le suivi quotidien du niveau ainsi que l'analyse des précipitations pour définir des perspectives de remplissage traduisent un véritable suivi scientifique avec des cotes d'alerte et des projets d'interconnexions des réservoirs mauriciens afin de mieux répartir les volumes en fonction des besoins. La CWA (Central Water Authority) s'inscrit dans une politique de gestion durable pour mieux répondre à des besoins grandissants de la population. Pour preuve, dorénavant les nouveaux projets hôteliers se doivent tous d'intégrer des unités de dessalement pour réduire l'impact sur la consommation. Pour les Mauriciens, les lacs restent perçus comme des réserves stratégiques, les écosystèmes présents ne sont que secondaires.

Le dernier type de suivi observé reste le plus élaboré, à savoir celui s'effectuant d'une manière continue avec plusieurs points de mesure correspondant chacun à une problématique de mesure. Les plans d'eau réunionnais répondent à cette logique avec une politique de l'eau s'inscrivant dans le cadre du développement durable. Le plan d'eau réunionnais le plus suivi est le plus vaste de l'île à savoir l'Etang Saint Paul. Au-delà du suivi continu hydrographique permettant de maîtriser le niveau du plan d'eau et de réduire le risque d'inondation, le suivi de la qualité des eaux donne la possibilité de détecter rapidement les pollutions et réduire les impacts. La connaissance approfondie des écosystèmes ayant permis d'effectuer des zonages (zone de loisir, zone protégée) et de classer cette zone en réserve naturelle montre que le plan d'eau ne s'inscrit pas seulement que comme une simple masse d'eau mais aussi avec une dimension écologique et récréative qui insère ce lac au sein de son environnement avec de vrais usages et une véritable identité.

La diversité des suivis scientifiques réalisés pour les lacs insulaires traduit l'hétérogénéité des situations et l'ensemble des progrès encore réalisables pour accroître la connaissance des milieux rares mais aux combien essentiels dans le contexte insulaire.

²²⁸ Source : DDAF (observation de la fréquence des données de terrain)

4.2.3. La mise sous protection ou réserve.

La mise sous réserve consiste à protéger un site par un corpus de règles environnementales pour réduire les pressions et nuisances pouvant l'affecter. Cette logique est présente sur tous les territoires observés (Mayotte, Réunion, Maurice) malgré des nuances liées à la législation nationale. Cependant ce processus est marqué par une certaine hétérogénéité allant de la simple reconnaissance de la richesse écologique des lieux à une véritable mise sous cloche environnementale. Nous avons pu observer que la grande majorité des lacs insulaires possèdent un suivi scientifique plus ou moins développé mais très peu d'entre eux s'inscrivent pour eux-même dans une aire protégée, preuve que malgré leur richesse écologique ou leur importance stratégique, les plans d'eau insulaires conservent une importance moindre que certaines zones littorales. En comparant les aires protégées entre les trois espaces insulaires qui nous concernent, nous avons pu établir une véritable différenciation des logiques de protection malgré le nombre réduit de plans d'eau concernés.

Le premier stade correspond à l'identification et au recensement du lac comme espace naturel sensible. Pour les masses d'eau qui nous concernent, l'ensemble est répertorié en tant que zone humide, cet inventaire dans le cadre des territoires français a été réalisé par la DIREN avec la collaboration d'associations environnementales (Conservatoire Botanique de Mascarin...). Les inventaires effectués à La Réunion datent de 2003 et 2009²²⁹, ils ont permis d'identifier 27 zones humides parmi lesquelles on retrouve les lacs insulaires de l'île comme l'Etang Saint Paul, Grand Etang, l'Etang du Gol ou l'Etang de Bois Rouge. Dans le cadre de ce recensement, les masses d'eau sont associées à l'ensemble hydromorphe qui les entoure, elle n'est donc pas recensée pour elle-même conformément à la définition d'une zone humide. Dans le cadre de l'île de Mayotte, la principale zone humide, la vasière des Badamiers a été reconnue comme d'importance internationale (Convention RAMSAR) mais le recensement des autres zones, plus réduites, est toujours en cours du fait du manque d'acteurs à vocation environnementale (tissu associatif réduit). Les lacs Dziani Dzaha et Dziani Karihani sont les deux lacs naturels de l'île ; ils constituent des zones humides de premier ordre figurant sur le recensement. Une fois reconnues comme zones humides remarquables, la classification en tant que ZNIEFF (zone naturelle à intérêt faunistique et floristique) permettra d'enclencher un processus de protection dont la finalité sera le classement en réserve naturelle. Les principaux lacs naturels observés à La Réunion ont obtenu leur classement en ZNIEFF soulignant leur intérêt écologique (**photo.42**). Pour l'île Maurice, le recensement des zones

²²⁹ Ce recensement a été actualisé en 2011

humides ou wetlands se poursuit malgré une pression foncière grandissante qui incite à la destruction des zones humides plutôt qu'à leur protection. Les principaux lacs mauriciens observés du fait de leur origine anthropique et de leur rôle économique ne rentrent pas dans cette classification de wetlands et ne bénéficient donc pas de protection de leurs écosystèmes. Cependant le recensement en zone humide (ou wetlands) ou leur classification en ZNIEFF pour les lacs insulaires demeure un statut de protection moins contraignant que celui de réserve naturelle.



Photographie 42 : L'Etang Du Gol (Réunion), l'exemple d'une ZNIEFF
Cliché Mathelin, 2012

Le second stade de protection correspond à la mise en « réserve », c'est à dire la mise en place de décrets de lois permettant de protéger le site d'une étendue restreinte. Ce processus de protection connaît des nuances selon la législation nationale mais la finalité reste la même. Dans le cadre des territoires français, plusieurs mécanismes de protection existent avec une gradation dans la logique de protection (réserve biologique, arrêtés préfectoraux de protection du biotope, réserves naturelles..). A La Réunion, l'exemple de l'Etang Saint Paul correspond tout à fait à cette mise en protection d'un site naturel sensible. Après avoir été identifié comme ZNIEFF lors des recensements des zones humides, ce lac et sa zone périphérique ne bénéficiaient pas des outils juridiques permettant de réduire les pressions anthropiques liées à l'urbanisation. Il faudra plus de 8 ans de concertation entre les acteurs locaux et nationaux pour que ce site sensible obtienne finalement le 8 janvier 2008 le statut de réserve naturelle nationale (**photo.43**). Avec ce statut, l'ensemble de l'aire protégée bénéficie d'une véritable protection avec un comité de pilotage. La commune devenue gestionnaire va pouvoir envisager une valorisation respectueuse de l'environnement. Cette logique de réserve naturelle concernant des surfaces réduites se retrouve aussi dans le cadre du territoire mauricien avec près de sept réserves naturelles toutes composées d'îlots entourant l'île principale. Il est à noter qu'aucune zone humide de l'île Maurice n'a encore été classée en réserve naturelle de même qu'aucun lac-réservoir pour lesquels les écosystèmes

encore récents ne constituent pas un attrait touristique suffisant permettant leur classement en réserve.



Photographie 43 : Signalisation de la réserve naturelle de l'Etang Saint Paul (Réunion)

Cliché Mathelin, 2013

Le troisième et dernier stade de protection se base sur la volonté d'une protection de plus grande ampleur avec un zonage permettant une mise à l'écart quasi totale des espaces les plus sensibles. Cet outil de protection est le parc national. Ce dispositif reste rare sur le territoire français (seulement 10 parcs nationaux en 2012), il permet d'établir une aire protégée sur une zone particulièrement vaste en distinguant une zone centrale ou cœur (zone de protection) avec une réglementation stricte et une zone périphérique (aire d'adhésion) dans laquelle le développement durable constitue une composante fondamentale des politiques locales. Cette aire protégée est gérée par un comité de pilotage indépendant, fonctionnant comme un établissement public. Les territoires français du sud-ouest de l'océan Indien possèdent la chance d'avoir une partie de leurs terres soumises à ce type de protection. Le parc national des Hauts de La Réunion, créé le 5 mars 2007, occupe une superficie de plus 1931ha dont 1054ha pour le cœur et 877ha pour l'aire d'adhésion, il couvre plus de 40% de la surface de l'île²³⁰ (**fig.72**). Le cœur du parc comprend aussi le lac de Grand Etang qui bénéficie ainsi d'une protection renforcée, cependant cette dernière réduit les activités humaines mais ne les interdit pas contrairement à de nombreux parcs. En effet ce parc national possède la particularité de voir sa partie centrale habitée et cultivée, ce qui pose des conflits d'usage entre habitants et gestionnaires du parc, preuve que cet outil réglementaire s'est imposé à la population et n'a pas encore été intégré par celle-ci. L'île Maurice possède aussi des parcs nationaux dont la structure réglementaire est différente²³¹ mais la finalité reste la même, à savoir la

²³⁰ Source : <http://www.reunion-parcnational.fr>

²³¹ Dans les parcs nationaux mauriciens, la taille réduite de ces derniers empêche la mise en place d'un zonage comme il est observable au sein des parcs nationaux français. Les règles de protection sont donc les mêmes sur l'ensemble du parc.

protection durable de la nature sauvage. L'état mauricien possède pas moins de neuf parcs naturels (**fig.73**) mais leurs étendues sont moins vastes que leurs homologues français. Sur neuf parcs nationaux, huit sont situés sur les îlots entourant l'île principale, le plus vaste de ces parcs est le parc national des Gorges de la rivière Noire d'une superficie de 67km². Ce parc forestier, vide d'habitation permanente, abrite de nombreuses espèces animales endémiques. Il a aussi la particularité d'abriter dans son aire de protection, le lac-réservoir de Mare Longue qui bénéficie de la réglementation stricte du parc national pour favoriser le développement d'écosystèmes lacustres. Pourtant aucune stratégie de développement spécifique n'est mise en place pour valoriser cet espace.

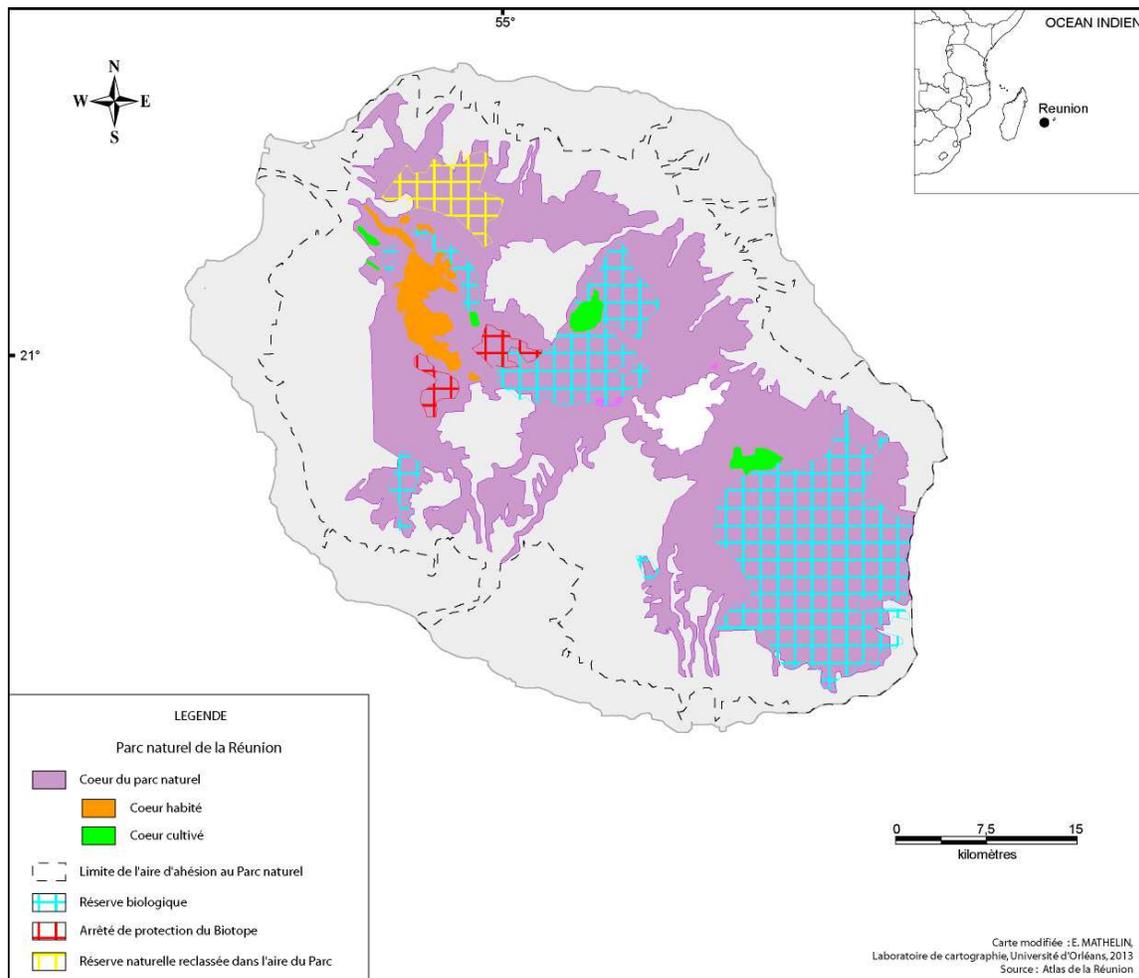


Figure 72 : Parc naturel de La Réunion

Les espaces insulaires observés possèdent donc des aires protégées de surface et de nature réglementaire très hétérogène mais aucune d'entre elles (excepté l'Etang Saint Paul) ne se trouve strictement dédiée à un espace lacustre. Les choix de protection portent plutôt sur les littoraux ou sur les parties intérieures (montagnes, volcans, forêts...). Ce choix repose la problématique du rapport à l'eau douce des sociétés insulaires dont la protection semble secondaire au regard de la valorisation touristique.

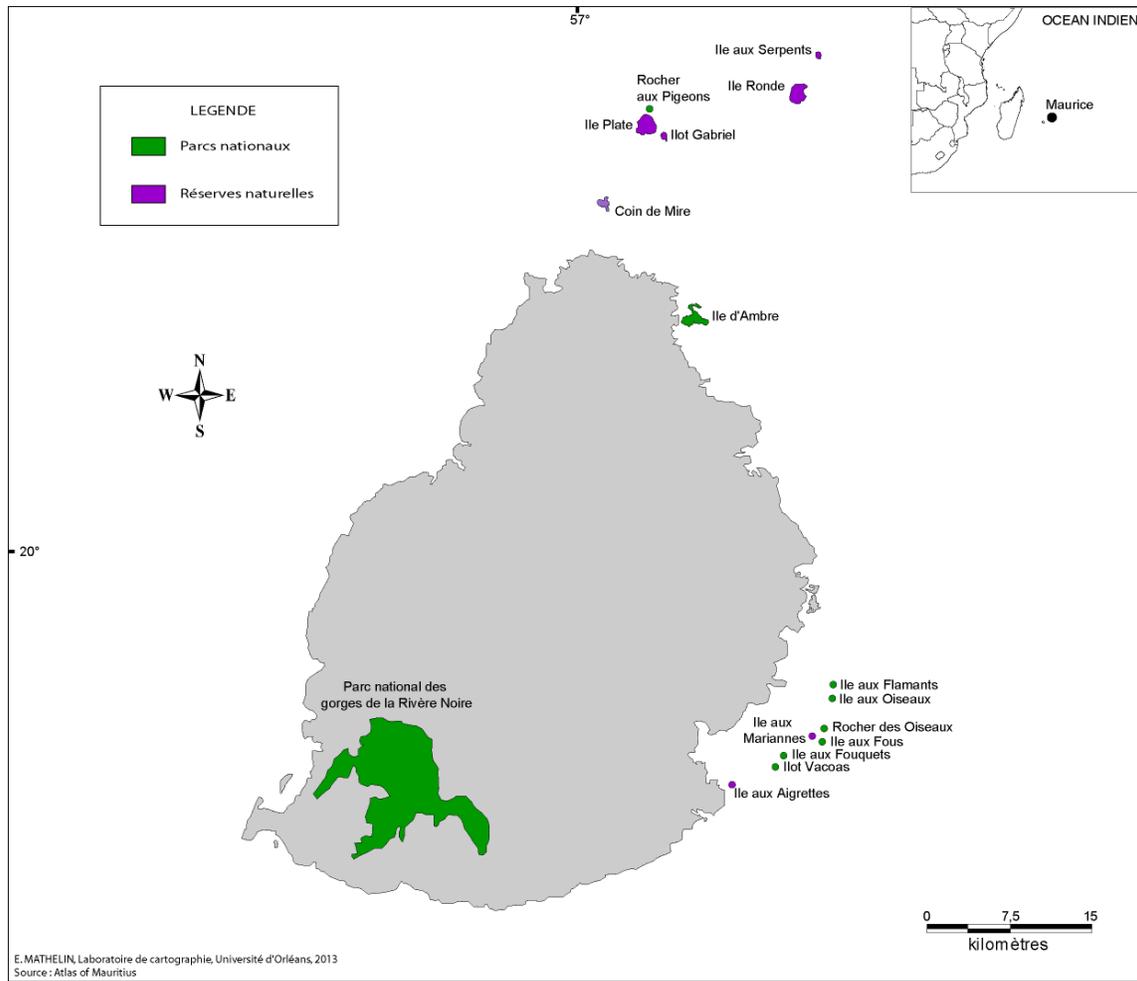


Figure 73 : Parcs naturels de l'île Maurice

4.2.4. La sacralisation du lac.

Le lac peut faire l'objet de formes de protection juridique multiples pour préserver son écosystème fragile et sa ressource en eau douce, cependant certains font l'objet d'une forme de protection bien plus particulière qui va au-delà du simple cadre juridique et qui s'apparente à une

sacralisation du lieu. Dans certaines civilisations, le lac peut être perçu comme un lieu sacré²³² en vertu de références religieuses ou de légendes mystiques. La masse d'eau ainsi que ses abords vont alors revêtir un caractère religieux exceptionnel pour les populations locales qui peuvent utiliser certains éléments (eau, plantes, terre...) afin d'assouvir des pratiques religieuses. Il est donc possible d'évoquer la notion de limonosystème sacré mise en avant par G.Giroir pour les lacs sacrés chinois²³³. Le cas de ces sacralisations de lac reste rare mais revêt une véritable dimension identitaire qui fait du lac une composante qui structure le territoire. Cependant dans un contexte de mondialisation, cette sacralisation est de plus en plus exposée aux regards extérieurs qui le remettent en cause.

Le sud-ouest de l'océan Indien, en particulier l'île Maurice a la chance de présenter ce type de lac dont l'intérêt dépasse les simples limites insulaires. Le lac dit de Grand Bassin encore appelé Ganga Talao par les Hindous mauriciens est un lac de cratère d'une superficie approximative de 7ha (**photo.44**). Dès le XVIIIème siècle ce lac a fait l'objet de croyances par l'intermédiaire d'esclaves malgaches avant que les engagés indiens du XIXème siècle ne s'approprient ce lieu. Ce lac est considéré comme sacré par les Hindous mauriciens car selon la légende le Dieu Shiva et son épouse Parvati en survolant la Terre, furent émus par la beauté de l'île et laissèrent choir une larme qui emplît le cratère vide. Ce lac serait, selon la tradition, en liaison avec les eaux sacrées du Gange²³⁴. De nombreuses légendes rapportent des phénomènes exceptionnels qui se seraient produits autour de ce lac, à savoir des brutales montées d'eau qui auraient ennoyé les temples situés au bord mais aucun témoignages ni cliché n'atteste de tels faits²³⁵. Ce site exceptionnel est surplombé par une immense statue (33 mètres de hauteur) du dieu hindou Shiva dont le rôle est de protéger ce lieu de culte (**photo.45**). Il est évident qu'aucun suivi scientifique ni aucune étude n'ont été menées sur un tel site dont la dimension religieuse constitue la meilleure des protections. De nombreux hindouistes rendent hommage au Dieu Shiva en effectuant des prières au pied de la statue. Ce lieu revêt une ambiance toute particulière lors de la fête de Maha Shivaratee (La Grande nuit de Shiva) lors des mois de février et mars, en l'honneur du dieu durant plus de 3 jours. L'événement rassemble à Maurice plus de 300 000 personnes qui effectuent un pèlerinage (le plus souvent pieds nus) vers le site de Grand Bassin pour effectuer des offrandes (principalement des fruits et des fleurs) au dieu Shiva et recueillir des eaux du lac. Cette immense fête constitue une célébration à portée nationale

²³² Giroir.G, 2007

²³³ Giroir.G, 2008, p127-138

²³⁴ Légende recueillie lors d'un entretien avec un des représentants religieux du site

²³⁵ Témoignages recueillis auprès des responsables du temple de Ganga Taalo

avec le déplacement des plus grandes autorités religieuses et politiques mais aussi la venue de fidèles d'autres territoires (Réunion, Inde, Afrique du Sud, Singapour Malaisie...).



Photographie 44 : Grand Bassin (Maurice), un lac sacré
Cliché Mathelin, 2012

Le lac de Grand Bassin malgré sa taille réduite joue dès lors un rôle fondamental dans la culture mauricienne. Il est devenu une véritable preuve de l'hindouisation de l'île²³⁶. En effet ce site à partir des années 1950 a fait l'objet d'une appropriation progressive par la communauté hindou mauricienne le transformant en un véritable symbole identitaire pour mettre en avant les liens forts entre Maurice et l'Inde. De grands leaders politiques, religieux et artistiques ont contribué au renforcement de ce lien par des actes symboliques mais marquants comme le 21 juin 1972 où le pandit indien Vidhya Nidhi Pandey, invité par le gouvernement mauricien, est venu déverser de l'eau du Gange pour matérialiser les liens religieux et politiques entre les deux pays et renforcer la dimension mythique de ce lac. L'influence économique de l'Inde s'est d'ailleurs fortement fait sentir sur ce site où le ministre des affaires étrangères lors de sa visite en 1977 a suggéré et a aidé à financer la construction de temples religieux. De même, l'immense statue de Shiva trônant à l'entrée du site, offerte en 2007 par le gouvernement indien et réalisée par le sculpteur Matu Ram Verma, est la plus grande statue de Shiva du monde. L'aménagement progressif de l'ensemble du site (construction d'immenses routes d'accès, de temples...) montre la dimension identitaire d'un tel lieu mais avant tout l'appropriation politique et la sacralisation d'un lac par une communauté.

²³⁶ Carsignol-Singh.A, 2009, p21-23



Photographie 45 : Statue de Shiva à l'entrée du site de Grand Bassin
Cliché Mathelin, 2012

L'île Maurice n'est pas le seul territoire du sud-ouest de l'océan Indien où il est possible d'observer de telles pratiques. En effet l'archipel des Comores regroupe à son tour plusieurs cas de lacs sacrés. Ainsi au sud-est de l'île de Mohéli, le lac Dziani Boudouni, lac de cratère d'une superficie maximale de 30ha est l'une des rares étendues d'eau douce des Comores. Ce lac revêt un caractère sacré car il abriterait selon les croyances locales un monstre qui se manifesterait par la présence de remous au sein de la masse d'eau. L'origine de ces remous étant certainement liée à des remontées de gaz dues à l'activité volcanique sous jacente²³⁷. De même sur l'île de Grande Comores, le lac salé (lac de cratère de 9ha) (**photo.46**), au nord de l'île, situé près du village Bangougouni, abrite une légende qui traduit ce lien étroit entre le sacré et les lacs. La légende raconte que :

" Un jour un homme assoiffé arriva dans le village. Il frappa sur toutes les portes de toutes les maisons pour quémander de l'eau. Mais à chaque fois les habitants le rejetaient. Enfin il frappa sur la dernière porte de la dernière maison. Une femme lui ouvrit la porte et lui donna de l'eau. Une fois sa soif éteinte, le malheureux s'en alla. Mais avant de partir celui-ci dit à la généreuse femme de partir, de quitter le village car un grand malheur va s'y abattre. La femme, au début septique, l'écouta et s'en alla avec sa famille, en se disant qu'après tout s'il ne se passait rien elle n'aurait qu'à revenir. Le soir même il se mit à pleuvoir, un grand déluge qui engloutit le village et ses habitants. Le village devint un cratère et on raconte que c'est à cause de la cruauté des habitants que le lac est salé. Depuis les âmes des habitants y sont enfermées. Ce n'est que quand le

²³⁷ Tilot.V, 1994

lac sera rempli de pierres que les habitants du village ressusciteront. C'est pourquoi si vous passez par le lac, jetez-y des pierres afin de libérer leurs âmes. Mais celui qui veut jeter des pierres doit les prendre au préalable, car il n'y a plus de pierre autour du lac."²³⁸

Ainsi les croyances animistes restent particulièrement fortes dans cet archipel malgré la mise en place d'une république fédérale islamique aux Comores. Ces pratiques ancestrales le plus souvent discrètes ne font pas l'objet d'une valorisation comme nous avons pu le constater pour l'île Maurice. Seules les populations locales se transmettent ces légendes, ce qui n'empêche pas les touristes de visiter ces sites.



Photographie 46 : Le lac Salé (Grande Comore)

Ce dernier exemple nous permet de souligner la diversité des formes de sacralisation de ces lacs opposant la mise en scène du sacré avec l'exemple de Grand Bassin pour répondre à une logique politique et la sacralisation ancestrale effectuée par des populations locales liée à des pratiques animistes. Cependant cette sacralisation se trouve aujourd'hui remise en cause dans le contexte de la mondialisation avec la disparition de certaines pratiques et l'ouverture des territoires. Cette tendance actuelle favorise la désacralisation et le développement d'une mise en scène qui revêt le plus souvent un caractère spectaculaire pour satisfaire les touristes plutôt qu'une véritable dimension sacrée.

Nous avons donc pu observer au travers de ces différents exemples, les multiples stratégies de valorisation des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien. Cependant leur mise en place ne peut s'envisager sans tenir compte du contexte socio-économique et environnemental.

²³⁸ Source : Nouriat Abdoukarim

Chapitre 4.3. Des stratégies de valorisation influencées par les spécificités culturelles et socio-économiques du sud-ouest de l'océan Indien.

La valorisation d'un lac ne peut se résumer à l'observation de la masse d'eau et de ses aménagements car ces derniers sont conditionnés par un contexte socio-économique et culturel. En effet la place du lac dans ces sociétés insulaires lui confère une dimension culturelle qui va se traduire par la mise en place ou non de certaines politiques. Elles vont être conditionnées à leur tour par un contexte socio-économique opposant des politiques de nécessité à des valorisations poussées. L'analyse de ces contrastes liés aux divers contextes va nous permettre de mieux appréhender les logiques de valorisation dans cette région du monde.

4.3.1. La place culturelle du lac dans les sociétés insulaires.

Le lac, quelque soit sa taille, son origine ou son usage semble s'inscrire d'une manière plus ou moins marquée dans les paysages insulaires du sud-ouest de l'océan Indien. Cependant il paraît essentiel de comprendre le rapport de ces sociétés insulaires pour en définir la ou les perceptions. Cette réflexion sur les usages a pour finalité de caractériser la place du lac et de comprendre en quoi il influence son territoire, en quoi il est un objet géographique à part entière.

Le lac est souvent considéré comme un point de curiosité, il suscite l'intérêt des populations mais se trouve aussi l'objet de multiples croyances. La fréquentation de ces points de curiosité s'avère donc très ponctuelle dans le cadre d'une démarche touristique ou religieuse. Il est à noter que certains lacs sont même fuis par les populations qui leur confèrent une dimension mystique (lacs sacrés pour les population locales). Cette catégorie de lacs correspond donc à des petites entités naturelles (de un à quelques hectares), le plus souvent isolées et dont l'intérêt patrimonial ou écologique a permis de les inscrire dans le cadre d'une aire protégée dans le meilleur des cas. Ces plans d'eau bénéficient rarement d'une valorisation importante du fait de leur isolement. La fréquentation reste majoritairement touristique avec la présence de sentiers permettant d'y accéder. Les lacs de cratère très présents sur les îles volcaniques du sud-ouest de l'océan Indien s'inscrivent dans cette logique de curiosité géologique que leur évolution endoréique a souvent favorisé une originalité écologique. L'exemple de du lac Dzaini Dzaha à Mayotte (**photo.47**) correspond à ces petites entités isolées figurant sur la liste des sites touristiques. Mais leurs conditions d'accès ou leur environnement (pentes vertigineuses, émission de soufre, eaux acides...) empêchent le développement d'activités autres que la randonnée.

Au-delà de l'aspect touristique, ces lacs peuvent aussi prendre une dimension religieuse, leur fréquentation correspond alors à des fêtes précises ; cependant dans le cadre d'une approche mystique, les légendes locales déconseillent voire interdisent leur fréquentation, ce qui n'empêche pas les touristes les plus curieux de braver les recommandations comme pour le lac salé sur l'île de Grande Comores, où les populations se rendent pour demander la guérison des problèmes de santé.



Photographie 47 : Les eaux couleur émeraude du lac Dziani (Mayotte)

Le lac peut être aussi considéré par les sociétés insulaires comme un lieu de détente où les usagers ne pratiquent pas les mêmes activités que dans l'océan. Contrairement aux grands lacs continentaux, il ne constitue pas un espace balnéaire. Du fait de leur morphologie (faible profondeur, système endoréique...) les lacs présentent un envasement important qui limite voire empêche la baignade. De plus la proximité des plages et de l'océan génère une concurrence directe. La fréquentation s'avère donc ponctuelle et correspond aux fins de semaine, ce qui focalise la pression anthropique sur des moments précis. Les activités que l'on y pratique se concentrent plus sur les berges avec l'aménagement d'aires de pique-nique, de pistes cyclables, équestres, ou de sentiers botaniques. Ce type de lac correspond à des plans d'eau du type de l'Etang Saint Paul ou l'Etang du Gol situés respectivement sur les littoraux ouest et sud de La Réunion. Leur proximité avec le littoral en fait des espaces avec un climat doux voire chaud toute l'année sans être confronté aux problèmes de saturation que l'on retrouve sur les plages. L'aménagement de kiosques et de barbecues pour des pique-niques (**photo.48**) en fait des points de rencontres dominicaux, véritable alternative à la plage plutôt largement occupée par les touristes.

A contrario de ces lacs littoraux aménagés, les lacs d'altitude avec leur fraîcheur contrastent durant l'été austral avec les températures élevées des littoraux, c'est pourquoi de nombreux plans d'eau d'altitude se trouvent pris d'assaut en cette période de l'année pour effectuer ce que les populations appellent « un changement d'air ». Le Grand Etang à La Réunion, situé à une altitude de 525m

correspond à cette situation avec des aires de pique-nique saturées durant les week-ends, les gens n'hésitant pas à camper plusieurs jours sur le site malgré les interdictions inhérentes à l'aire protégée. Le lac incarne ici un lieu complémentaire avec le littoral.



Photographie 48 : L'aménagement du site de l'Etang Saint Paul (Réunion)

Cliché Mathelin, 2008

Enfin le lac peut représenter un lieu de ressources multiformes (eau, poissons, gibiers, bois...) pour les sociétés insulaires. Cette approche de la masse d'eau en tant que ressource est la plus fréquente pour les lacs observés. L'usage intensif de la ressource induit donc une forte fréquentation, voire une exploitation du point d'eau et de ses possibilités. Les ressources concernent dans un premier temps la masse d'eau elle-même car le plan d'eau représente un stock d'eau douce indispensable en période sèche. Le lac dit « naturel » dans les espaces insulaires s'avère de trop petite taille et avec des régimes hydrologiques irréguliers et ne permet pas de satisfaire les besoins de la population tout au long de l'année. La création de lacs-réservoirs comme pour l'île Maurice traduit tout à fait ce besoin et cet usage du lac dont les eaux sont puisées quotidiennement à des fins domestiques ou agricoles. Les traditionnelles citernes observées à Mayotte ou aux Comores (**photo.49**) ne sont plus suffisantes pour couvrir les besoins, ce qui induit une nécessité grandissante de réservoir de plus grand gabarit et explique les créations récentes des réservoirs-lacs de Combani et Dzoumogné.

La masse d'eau permet aussi la pratique d'activités comme la pêche et la chasse avec la présence d'espèces introduites pour satisfaire ces activités cependant une réglementation de plus en plus stricte impose des règles à ces pratiques. La présence de gibiers d'eau ou de certaines espèces de poissons favorise aussi le braconnage pour répondre à des besoins alimentaires ou en effectuer le commerce. Plus traditionnellement les alentours des lacs, souvent plus accessibles que les forêts d'altitude, sont des lieux privilégiés pour la récolte du bois pour la préparation de la cuisine. La cuisine dite au feu de bois représente une valeur traditionnelle dans la culture créole mais cette

pratique tend à disparaître face aux nouvelles technologies. L'Étang Saint Paul à La Réunion, proche de la commune du même nom s'est trouvée fortement confronté à cette logique de pillage²³⁹ des ressources dont le nombre a augmenté corrélativement à la croissance de la ville. Pour préserver cet écosystème des agressions urbaines multiples tout particulièrement en matière de braconnage, la mise en place d'une aire protégée en 2008 s'est avérée indispensable. La sensibilisation des populations locales par les éco-gardes municipaux et les nombreux contrôles réalisés par la police de l'eau ont permis de réduire sensiblement ce problème.



Photographie 49 : Citernes aux Comores

Cliché : Guébourg, 2006

Les rapports des sociétés insulaires aux espaces lacustres s'avèrent très variables selon la nature des plans d'eau auxquels elles sont confrontées. Le lac occupe donc une place ambiguë dans ces sociétés oscillant entre curiosité naturelle, espace récréatif et espace ressource, les trois ne pouvant se cumuler facilement du fait de la taille réduite des lacs insulaires sans déclencher des conflits d'usage. Cependant le rôle joué par le lac se trouve vivement conditionné par le seuil de développement. Les contrastes observés dans le sud-ouest de l'océan Indien traduisent tout à fait cette logique.

4.3.2. Le poids des conditions socio-économiques dans les stratégies de valorisation.

Les conditions socio-économiques présentes sur une île traduisent le niveau de développement de celle-ci. Ce niveau de développement économique et social a des répercussions évidentes sur les politiques environnementales. Plus un pays est développé, plus il aura les moyens de se consacrer aux questions environnementalistes de son territoire et inversement. Cette logique

²³⁹ Vincent Boyer , 2009

se ressent dans la place occupée par les espaces lacustres dans ces sociétés mais aussi dans leur gestion. Le sud-ouest de l'océan Indien, marqué par des contrastes socioéconomiques forts (**fig.74**) entre ses îles, va nous permettre d'observer les oppositions de politiques de gestion des lacs insulaires d'un territoire à un autre.

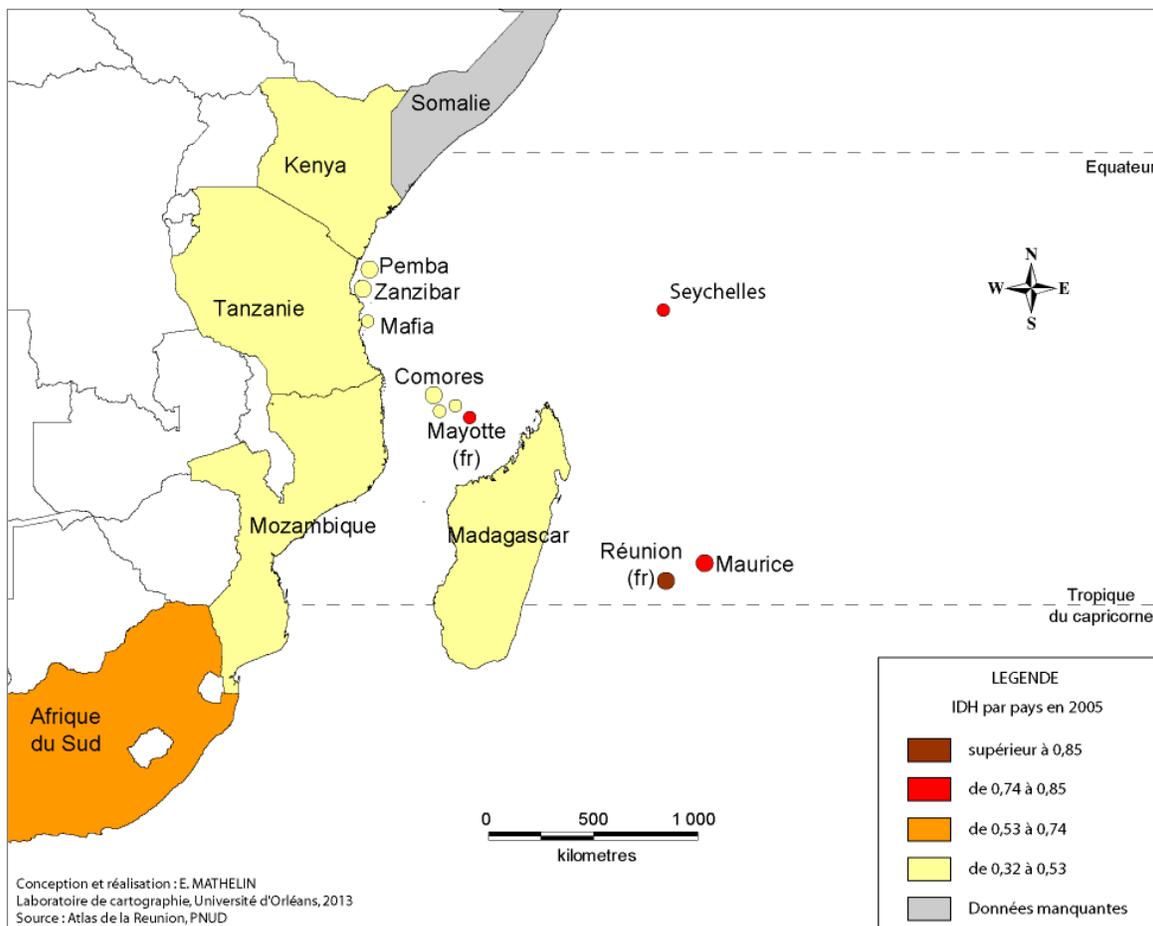


Figure 74 : Les inégalités de développement dans le sud-ouest de l'océan Indien

Les espaces insulaires en voie de développement comme les Comores (IDH : 0,433)²⁴⁰ ou dans une moindre mesure Mayotte (IDH : 0,75)²⁴¹ se caractérisent par l'urgence de la gestion. Ces pays manquent de moyens financiers leur permettant d'aménager leur territoire, ce qui se traduit par la réalisation de micros aménagements souvent à court terme mais permettant pour un temps de résoudre les difficultés. Cette logique d'aménagement se retrouve dans le cadre de la politique de l'eau et de la valorisation de cette ressource. En effet l'essentiel des fonds et des projets se trouvent dédiés à la distribution de l'eau potable ou aux problèmes d'assainissement. La création ou la

²⁴⁰ Source : Atlas de La Réunion

²⁴¹ Goujon.M, Hermet.F, 2012

rénovation de micros aménagements comme les citernes ne constitue qu'une réponse superficielle à la problématique de la ressource en eau. Ce contexte réduit donc la place du lac à une simple curiosité géographique où la protection de la zone est assurée par des croyances religieuses plutôt que par des aspects réglementaires comme cela est le cas dans les pays développés. La construction d'ouvrages structurant de type réservoirs-lac nécessite des fonds importants qu'un pays comme les Comores ne possède pas. Dans le cas de Mayotte, le soutien économique de la France et de l'Union européenne a permis d'engager la construction de grands projets (réservoirs Combani et Dzoumogné) (**photo.50**) mais la mise à niveau des infrastructures de distribution et d'assainissement risque de demander de longues années. Cette politique de rattrapage dans le domaine de l'eau, plus particulièrement pour la distribution et l'assainissement traduit la situation de territoires en développement.



Photographie 50 : Réservoir de Combani (Mayotte)

Dans le sud-ouest de l'océan Indien, l'île Maurice (IDH : 0,804)²⁴² représente une situation intermédiaire assimilable à celle des pays émergents dont la croissance économique a permis de se rapprocher de celle des pays développés mais où l'on constate encore d'importantes lacunes en matière de développement social. Cependant l'ensemble de la population ne bénéficie pas de ce développement et les distorsions se creusent entre les catégories de la population. Dans le cadre des politiques de l'eau menées, la croissance économique a permis la réalisation des grands aménagements nécessaires (réservoirs, conduites, stations d'épuration...) comme la création du réservoir des Midlands (**photo.51**), 2^{ème} plus grand réservoir de l'île après la Mare aux Vacoas, pour répondre aux besoins des populations. D'autres aménagements sont prévus (la construction du barrage de Bagatelle dont la capacité devrait dépasser les 7,5 millions de mètres cube) ainsi des

²⁴² Goujon.M, Hermet.F, 2012

projets d'interconnexion ²⁴³ des réservoirs entre eux pour éviter les pénuries. L'inégale consommation en eau du territoire mauricien a poussé les autorités locales à relier le réservoir de la Mare aux Vacoas et celui de Mare Longue afin de maintenir un niveau constant dans le réservoir principal et éviter les restrictions en période sèche.

Cette politique globale de gestion de la ressource traduit le niveau de développement de l'île et sa capacité à répondre aux besoins de la population. Cependant la dimension environnementale reste faible. Les intérêts écologiques sont souvent confrontés aux enjeux du développement économique. Pour les lacs, la perspective d'un développement durable reste relative car l'île Maurice disposant majoritairement que de lacs réservoirs n'y voit que des points de ressource et non des écosystèmes à préserver. La mise en place difficile d'une préservation des wetlands sur l'île démontre que la logique de préservation de la ressource en eau reste délicate pour une île qui se construit à moyen terme. Cependant cette logique de croissance exacerbée trouve ses limites face à la raréfaction de la ressource en eau (épuisement des points de forages voire salinisation des sols) et à la nécessité de penser la gestion à long terme (usines de dessalement obligatoires pour tous les nouveaux projets hôteliers) pour éviter d'importantes pénuries et des restrictions comme cela est constaté actuellement.



Photographie 51 : Le réservoir des Midlands
Cliché Mathelin, 2012

Dans ce contexte insulaire austral, La Réunion fait l'objet d'exception du fait de son développement économique (IDH : 0,87)²⁴⁴. Son rattachement ancien avec la France (IDH : 0,95) et sa départementalisation depuis 1946 ont permis de faire de cette île, un espace développé au regard de l'environnement insulaire. La politique de rattrapage économique et social depuis les années 1950 voulue par la France et complétée depuis 1989 par les fonds européens a permis de moderniser

²⁴³ Le Matinal, 18/01/2012

²⁴⁴ Goujon.M, Hermet.F, 2012

le territoire et de répondre aux besoins d'une population en pleine croissance. En matière de politique de l'eau, la présence d'organismes (DREAL, OLE, DRASS...) et de schémas de gestion (SDAGE) en charge du suivi de la quantité et des quantités d'eau disponibles et consommées montre toute la gestion de la ressource en eau et permet aux différents habitants de l'île de bénéficier d'un accès continu à l'eau potable.

La mise en place d'un projet tel que le transfert des eaux (**fig.75**) au sein de l'île montre la capacité économique de l'île mais aussi sa volonté d'une politique globale durable²⁴⁵. Ce projet montre une autre réponse envisageable à la problématique de l'inégale répartition spatiale et temporelle de l'eau. Contrairement aux systèmes de réservoirs-lacs observés à Maurice, le transfert des masses d'eau est continu avec un stockage minimum. Dans cette logique, le lac occupe une place différente car il n'est pas considéré comme une ressource en eau mais comme un écosystème fragile s'inscrivant dans un hydrosystème insulaire réduit. Le développement des aires protégées au sein de l'île (parc national, réserves naturelles), la protection des zones humides (inventaire ZNIEFF) et la valorisation de certains plans d'eau traduit l'importance du développement dans la logique de gestion des zones humides et espaces lacustres. Le cas de La Réunion nous permet ici d'observer un territoire insulaire où la problématique de l'eau, bien que fondamentale à la survie des populations n'empêche pas d'accorder une place à part entière aux écosystèmes lacustres et plus largement aux zones humides, quitte à les inscrire dans des aires protégées. Il faut rester cependant prudent car ces masses lacustres conservent une place relative par rapport aux littoraux et autres massifs montagneux.

Chapitre 4.4. Les modèles de valorisation des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien : de l'exploitation à la protection.

L'analyse des différentes composantes de la valorisation (acteurs, politiques de gestion, contexte socio-économique et culturel) des espaces lacustres du sud-ouest de l'océan Indien, nous a permis d'observer de multiples situations reflétant chacune un contexte local. Des points communs apparaissent entre les différentes îles en matière de valorisation des lacs ce qui nous permet de réfléchir à l'existence de modèles de valorisation caractéristiques de cette région insulaire. Les modèles établis se basent sur le croisement des données de taille des plans d'eau mais aussi de leur degré de valorisation, ils ne répondent ici aucunement à une logique mathématique. Cette analyse dessine trois grands modèles de valorisation ainsi que des pistes d'aménagement.

²⁴⁵ Rousseau.C, 2005, p51-55

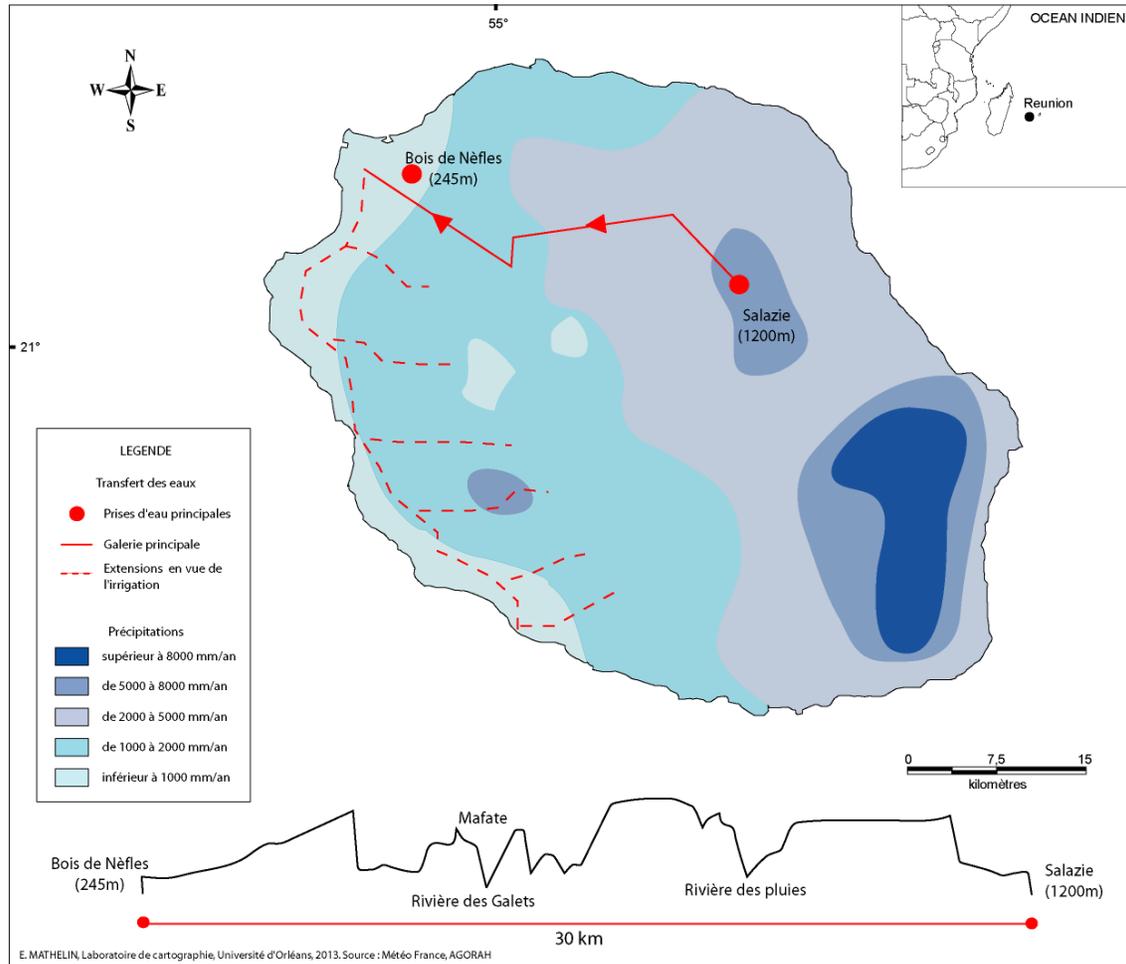


Figure 75 : Le transfert des eaux à La Réunion

4.4.1. Les « petits lacs » naturels, des points d'eau originaux voire mythiques à valoriser.

Le premier modèle de valorisation correspond à de petits plans d'eau ne présentant qu'une mise en valeur réduite (sentiers de promenades, panneaux...) du fait de leur isolement ou de leur faible intérêt écologique. Ce premier modèle regroupe un nombre important de petites entités présentant des caractéristiques lacustres mais leur faible intérêt scientifique en limite le recensement et la connaissance. Le manque de données scientifiques ne nous permettra pas de proposer une étude de cas approfondie pour cette sous partie typologique. La grande diversité des situations nous imposera la présentation de divers exemples pour souligner toute l'originalité de ces petites masses d'eau.

Les caractéristiques morphologiques de ce type de plans d'eau se définissent par la taille réduite de ces lacs (inférieures à 20ha). Cette faible taille s'explique par une morphologie liée à de petites dépressions résultant principalement d'un volcanisme passé comme le prouve les nombreux lacs de cratère (Piton de l'eau à La Réunion ou Dziani Dzaha à Mayotte, lac Salé à Grande Comore), voire certaines dépressions isolées dont la formation est liée au relief encaissé (Dziani Karihari à Mayotte) ou à la fermeture du littoral (Etang de Bois Rouge à La Réunion. La morphologie insulaire de type montagnaise favorise la formation de points d'eau souvent isolés dont l'influence sur les hydrosystèmes reste limitée, la morphologie des lacs de cratères favorise les systèmes endoréiques. La taille réduite et le faible impact sur les hydrosystèmes ont tendance à réduire l'intérêt scientifique de ces points d'eau dont le suivi scientifique reste minime (cartographie voire quelques analyses ponctuelles). Un tel isolement peut cependant s'avérer un atout car il favorise la préservation de l'endémisme des écosystèmes mais le manque de suivi scientifique réduit les chances d'une telle reconnaissance et valorisation.



Photographie 52 : Le Piton de l'eau, lac de cratère (Réunion)

Cliché Mathelin, 2011

En matière de valorisation, ces plans d'eau lorsqu'ils ne se trouvent pas abandonnés puis envahis par la végétation, bénéficient d'une valorisation minime. La cartographie de ces lacs reste aléatoire, preuve de leur méconnaissance. Ainsi certaines masses d'eau, en situation d'assec toute l'année se trouvent cartographiées en tant que plan d'eau permanent. La mare Kerval ou la mare de l'Argamasse à La Réunion subissent de telles situations, ces masses d'eau disparaissent durant l'ensemble de la période sèche pour ne réapparaître qu'en fin de saison humide lorsque les sols sont saturés. Ces cycles surprennent le plus souvent les touristes alors déçus de trouver un marécage au lieu et place du lac cartographié. La valorisation appliquée à ces masses d'eau se base principalement sur la présence de sentiers d'accès dont certains mènent à de rares points de vue avec la présence de quelques panneaux indicateurs voire explicatifs dans le meilleur des cas. Le cas

de Dziani Dzaha à Mayotte constitue un excellent exemple car ce lac de cratère ne se trouve valorisé que par un simple sentier faisant le pourtour de la masse d'eau. Les pentes abruptes et les eaux acides ne favorisent aucune autre valorisation. Il en est de même pour la Grande Mare de la forêt de Bélouve à La Réunion située sur l'un des sentiers les plus fréquentés de l'île menant au point de vue du Trou de fer. Ce plan d'eau ne bénéficie d'aucune valorisation (panneaux, entretien du pourtour, signalisation d'écosystèmes...) malgré le fait que nous soyons au cœur du parc naturel de La Réunion. L'aspect naturel reste dominant, non pas par un souci de préservation mais du fait d'un manque de moyens évident, obligeant à concentrer les fonds sur des masses d'eau plus structurantes pour le territoire.



Photographie 53 : Le lac Dziani (Mayotte)

Ces lacs insulaires de taille réduite conservent un impact réduit sur l'ensemble du territoire insulaire. Sur les îles observées, ils font avant tout l'objet d'une curiosité naturelle à laquelle on associe quelquefois des croyances populaires. Ces dernières résultent souvent de légendes liées à des faits réels, le plus souvent dramatiques, qui se sont progressivement diffusées. Ainsi aux Comores, le lac salé, lac de cratère situé au nord de l'île constitue un point d'eau les plus mystiques. Son caractère religieux a fait naître de nombreuses légendes, en particulier pour la disparition des problèmes de santé. Hormis les prières réalisées par les populations locales, aucune valorisation n'y est effectuée car ce lac est considéré comme sacré. A la dimension mystique, s'ajoute aussi l'aspect sanitaire car ces plans d'eau furent pendant des siècles des espaces insalubres abritant de nombreuses maladies vectorielles comme le paludisme. Ces croyances ont donc permis aussi d'écarter les populations locales de ces zones. Il est à noter que cette dimension mystique des espaces lacustres ne s'avère pas toujours répulsive en matière de valorisation, ainsi le lac de Grand Bassin à Maurice, appelé aussi lac Sacré, est un haut lieu de la religion hindouiste dont de nombreuses légendes constituent sa notoriété. Cependant la valorisation de ce lieu à des fins

politico-économiques a permis d'en faire un point de pèlerinage international mais aussi un espace touristique incontournable de l'île Maurice.

Ainsi ces petits plans d'eau naturels, le plus souvent isolés, méconnus et ne bénéficiant que de peu de valorisation, se trouvent confrontés à une distorsion forte entre les populations locales et leurs croyances et les touristes qui attirés par ces légendes, n'hésitent à s'aventurer autour de ces lacs malgré les recommandations. Pour les insulaires, ces points constituent des lieux méconnus et souvent craints tant par les croyances locales que par les conditions insalubres que l'on y associe parfois (marécage, moustiques...). Leur valorisation constitue un potentiel indéniable pour ces espaces insulaires. La valorisation de Grand Bassin à Maurice, en tant que « petit lac » constitue une des finalités de mise en valeur vers laquelle devraient tendre ces petites masses d'eau isolées.

4.4.2. De la retenue collinaire au lac-réservoir, une stratégie de survie hydrique.

Le second modèle de valorisation des espaces lacustres insulaires correspond aux plans d'eau artificiels de type retenue collinaire ou lac-réservoir dont le rôle principal est de répondre aux besoins en eau douce des populations locales. Ces retenues artificielles de taille variable selon les îles présentent des volumes d'eau suffisants pour favoriser l'apparition de comportements lacustres. Malgré leur origine anthropique, ces masses d'eau ont leurs propres caractéristiques et leurs enjeux. La connaissance des cycles lacustres naturels permet de mieux aborder la gestion de ces entités artificielles. Ces stratégies de valorisation s'avèrent particulièrement avancées à La Réunion (essentiellement de petites retenues collinaires, inf à 1ha) et sur l'île Maurice avec les nombreux réservoirs observés mais elles commencent aussi à s'imposer à Mayotte avec la construction des réservoirs de Combani (**photo.52**) et Dzoumogné. Il est évident que les Comores faute de moyens suffisants n'ont pu faire des aménagements d'une telle ampleur mais les besoins grandissants de la population imposeront certainement au gouvernement de recourir à ces solutions.



Photographie 54 : Le réservoir de Combani (Mayotte), période de basses eaux

Ces retenues dont la taille varie de quelques hectares à plusieurs centaines d'hectares sont situées la plupart du temps à l'intérieur des terres en particulier en têtes de bassin. Ainsi la masse d'eau bénéficie de la pente pour assurer la distribution en eau des zones concernées en aval. Ces plans d'eau sont créés à partir d'une vallée sèche ou d'une dépression dont les évacuations ont été fermées par une contre pente mais la digue créant cette contre pente n'excède pas 20m²⁴⁶ sur les plans d'eau observés. Cette hauteur réduite s'explique par le risque que représentent les crues cycloniques dont la violence des abats d'eau est capable d'entraîner la rupture de tels barrages. En effet le modèle des barrages-voûtes observables sur le continent reste très rare dans les espaces insulaires du fait de l'irrégularité des régimes et de la sismicité liée au volcanisme. Un des rares exemples observables est celui de Takamaka 1 et 2 à La Réunion dont la vocation est hydroélectrique. Il est intéressant de comparer la morphologie des différentes retenues collinaires rencontrées sur les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien. Ainsi à La Réunion, dans les parties intérieures, sur la commune du Tampon, la problématique de l'eau est forte du fait des activités agricoles, de l'urbanisation mais aussi du fait d'un réseau de distribution défaillant favorisant des pertes importantes. La commune a donc développé avec le soutien des autres collectivités territoriales (Département et Région), la création de retenues collinaires de taille réduite (n'excédant pas 5h) afin de limiter les restrictions d'eau et permettre le maintien des activités agricoles. L'île Maurice présente les réservoirs les plus importants pouvant dépasser 500 hectares comme la Mare aux Vacoas avec des capacités de stockage supérieures à 25Mm³ en volume maximal ou même le dernier réservoir créé celui des Midlands (**photo.53**) dont la capacité maximale est proche de la Mare aux Vacoas avec 25Mm³. Le relief relativement adouci n'offre pas la possibilité de générer des précipitations suffisantes pour répondre aux besoins de la population,

²⁴⁶ Digue du réservoir des Midlands : 19,5m

ce type de structure est donc indispensable pour maintenir une alimentation en eau sur toute l'année. La structure de ces réservoirs composée par un système de moine permet d'en contrôler aisément le niveau. La présence de systèmes de vidange de type pelle est utile pour effectuer des curages afin d'évacuer les boues accumulées. La présence de déversoirs de surface favorise l'évacuation du surplus d'eau lors des épisodes pluvieux importants. En aval de ces digues, la présence de stations de traitement des eaux assure la distribution d'une eau de qualité pour les zones reliées au réseau de distribution de ces réservoirs.



Photographie 55 : Le réservoir des Midlands (Maurice), l'exemple d'un réservoir moderne

Ces lacs-réservoirs constituent donc comme nous l'avons vu précédemment des points de ressources essentiels pour les espaces insulaires. Leur vocation première et essentielle est de répondre aux besoins en eau douce et potable ce qui explique l'absence d'autres activités pouvant devenir polluantes. La qualité de l'eau constitue un des points essentiels de la valorisation avec un suivi scientifique régulier pour permettre de détecter d'éventuelles pollutions. La localisation dans les parties intérieures de l'île comme pour les réservoirs de Dzoumogné et Combani ou les retenues collinaires réunionnaises s'inscrit dans cette logique d'isolement vis à vis du littoral. La mise en place d'une surveillance et protection (grillages, accès réglementé, postes de surveillance...) autour de la masse d'eau comme accentue cette logique de protection cela est le cas pour les réservoirs mauriciens.

Autre aspect indispensable à la valorisation, le suivi régulier du niveau de remplissage. Le suivi du niveau du réservoir constitue donc une donnée stratégique dans un espace insulaire où la ressource en eau est problématique. Ainsi la Mare aux Vacoas, principal réservoir de l'île Maurice a dû faire face en 2012 ainsi que durant les années précédentes à des périodes de sécheresse importantes (**photo.55**) ce qui impose aux autorités gouvernementales de mettre en place des restrictions en limitant la distribution de l'eau à un ou deux par jour dans les régions centrales dépendantes de ce réservoir voire des coupures d'eau de plusieurs jours avec des amendes de 50 000 Rs pour les

usagers gaspillant l'eau²⁴⁷. La croissance économique de l'île ainsi que le développement de la population couplés à des infrastructures défailtantes favorise donc la récurrence des situations de stress hydrique. Ces réservoirs-lacs sont des espaces hautement stratégiques dans la question de la ressource en eau, malgré une valorisation réduite, une attention de tout premier ordre est portée au suivi de la quantité et de la qualité de leurs eaux.



Photographie 56 : La Mare aux Vacoas (Maurice) lors de la sécheresse de 2012
Cliché Mathelin, 2012

La présence de tels réservoirs en tête de bassin n'est pas sans conséquence sur l'ensemble du réseau hydrographique. Ces réservoirs, pour les plus importants (ce qui exclut les micro-réservoirs de type citerne rencontrés aux Comores ou les petites retenues collinaires de La Réunion) ont des comportements lacustres. La masse d'eau présente dans le réservoir subit une régionalisation de ses caractéristiques physico-chimiques avec un réchauffement des eaux de surface et une stratification des couches d'eau. De plus les prélèvements réguliers et nécessaires au remplissage des réservoirs ne permettent pas toujours le respect du maintien des débits réservés ce qui se traduit par la baisse du niveau des cours d'eau sur lesquels les réservoirs sont placés. A noter cependant que ces réservoirs, tout comme l'essentiel des lacs jouent aussi un rôle d'écrêteur de crues en réduisant les vitesses de transfert des eaux en tête de bassin. La présence de réservoirs-lacs n'est pas sans influence sur les hydrosystèmes.

Mais de telles structures de construction humaine posent aussi la question de leur durée de vie. Ces dépressions sont des points d'accumulation naturels des sédiments arrachés dans le bassin d'alimentation. Les variations de niveau liées au stockage et au déstockage tout au long de l'année accentuent l'érosion de certains points d'accumulation du lac comme la plaine deltaïque ce qui provoque la remise en mouvement des sédiments qui se concentrent alors plus en aval dans la

²⁴⁷ Le Mauricien, 27/12/2011

cuvette. En l'absence de curages réguliers (au moins tous les 5 ans), l'accumulation de sédiments représente un risque majeur pour l'ensemble de l'ouvrage dont la capacité se réduit progressivement et s'expose à un risque de rupture de la digue. Ces curages de réservoirs, certes indispensables, constituent des relarguages brutaux de sédiments en aval des plans d'eau, provoquant un envasement sur des distances plus ou moins étendues et la dégradation des écosystèmes. Le plus ancien réservoir rencontré dans la zone de recherche est la Mare aux Vacoas dont l'existence date de plus de 125 ans. Sa dimension stratégique empêche toute phase d'assec durable ce qui rend impossible d'importants curages. L'absence de curage régulier réduit les capacités de stockage du plan d'eau et représente un risque de premier ordre vis à vis de l'infrastructure fragilisée par l'accumulation des sédiments mais aussi l'absence d'entretien des systèmes de vidange. La présence de tels réservoirs a donc un impact fort sur les environnements insulaires, malgré la réponse qu'ils apportent en matière de ressource en en eau.

L'exemple de la Mare aux Vacoas sur l'île Maurice traduit tout à fait ce modèle de valorisation des lacs-réservoirs. Situé au centre de l'île Maurice, la Mare aux Vacoas tient son nom d'un petit arbuste, le vacoas dont les feuilles sont largement utilisées pour la réalisation d'objets artisanaux. Ce réservoir doit son origine à la présence d'un lac de cratère naturel alimentant cinq cours d'eau. Son existence a été confirmée pour la première fois en 1722 par le gouverneur Nyon qui l'avait nommé doublement Grand Estang ou Marais profond²⁴⁸. En 1860, le major Thompson, étudiant la problématique du déboisement sauvage à Maurice recommanda au gouvernement mauricien de racheter ces terres proches de la Mare aux Vacoas pour les convertir en réservoir d'eau douce face à l'afflux de population du littoral vers les parties intérieures de l'île suite à l'épidémie de paludisme. La réalisation des premiers travaux de barrage sur la Mare aux Vacoas débutèrent en 1887 pour s'achever en 1888. La région de Rose Hill fut la première desservie. Aujourd'hui la Mare aux Vacoas, suite aux aménagements successifs a une capacité de plus de 25 millions de mètres cubes et alimente près de 450 000 personnes.

Cependant le réservoir se trouve confronté à d'inquiétantes variations de niveau, ainsi en 2012, après plusieurs années de remplissage insuffisant il atteint la cote des 90% de remplissage à l'issue de la saison des pluies mais quatre mois plus tard, le niveau du lac était redescendu à 33%, près de la cote d'alerte des 25% (22% atteint le 6 février 2012 avant les épisodes pluvieux)²⁴⁹. Cette baisse inquiétante trouve de multiples explications selon les acteurs interrogés allant du réchauffement climatique avec des précipitations dites insuffisantes (pourtant conformes aux moyennes annuelles)

²⁴⁸ Guébourg, J-L., 2006

²⁴⁹ Source : CWA

à la mise en cause du développement touristique de la zone, gros consommateur d'eau douce. Mais la solution la plus plausible selon une commission d'expertise singapourienne reste la morphologie du lac et ses infrastructures. En effet ce lac-réservoir se situe sur une zone volcanique et sismique marquée par de nombreuses failles dont les mouvements de terrain auraient pu favoriser l'écartement entraînant un point d'infiltration interne au lac. A cela s'ajoute la structure vieillissante des aménagements lacustres et de distribution des eaux qui peuvent être aussi à l'origine de pertes importantes.

Cependant les Mauriciens ne peuvent se passer d'un tel ouvrage et des solutions temporaires ont été apportées. Le raccordement du réservoir de Mare Longue avec celui de la Mare aux Vacoas a réduit la dépendance vis à vis du réservoir principal en matière d'alimentation en eau potable. Cependant l'expertise singapourienne recommande l'interconnexion de tous les réseaux pour limiter les pénuries et pouvoir gérer au mieux les besoins en rééquilibrant les régions en manque. Un tel projet nécessite des investissements importants que le gouvernement mauricien ne veut concéder. La création de petites retenues aux alentours de la Mare aux Vacoas avec la mise en place d'unités mobiles de traitement des eaux ont pour but de réduire la pression sur le plus grand réservoir de l'île. Dans une logique plus durable et afin de moderniser ses installations, le gouvernement mauricien a aussi comme projet la construction d'une retenue sur la rivière des Anguilles d'une capacité de 15,3millions de mètres cube soit la moitié de la Mare aux Vacoas. La construction de nombreux réservoirs et la restructuration du réseau de distribution des eaux mauriciennes montre toute la complexité et les défis à relever pour un espace insulaire confronté à des situations de stress hydrique.

Le modèle de valorisation par la construction de retenues traduit toute l'importance de ces réservoirs lacs dans la logique insulaire. La complexité des pompes souterraines et le coût élevé du dessalement de l'eau de mer impose la création de lacs-réservoirs seuls capables de stocker les volumes nécessaires pour répondre aux besoins. Or de tels réservoirs-lacs pourraient connaître de multiples formes de valorisation. En effet, l'interdiction d'activités nautiques préserve la qualité des eaux mais l'implantation d'une faune aquatique et la mise en valeur des abords des réservoirs permettraient certainement de créer un attrait touristique autour de ces masses d'eau. Une telle stratégie de valorisation ne sera envisageable que lorsque ces sociétés insulaires réduiront leur dépendance à ces réservoirs (soit en créant un nombre suffisant de réservoir, soit en se basant sur un autre moyen de satisfaire leurs besoins en eau).

4.4.3. Le lac valorisé, conflit d'usage entre développement touristique et protection de la biodiversité.

Ce dernier modèle de valorisation reflète le fait que les lacs insulaires peuvent connaître une valorisation au même titre que d'autres espaces insulaires convoités comme les littoraux, les volcans ou certaines curiosités naturelles. La réalisation d'aménagements, la création d'aires protégées, les activités multiples traduisent le potentiel touristique de ces espaces. Cependant cela pose un véritable conflit d'usage entre la valorisation à outrance pour en faire de véritables espaces touristiques et la nécessité aussi de protéger ces zones humides, particulièrement rares et riches en matière de biodiversité. Ces modèles lacustres restent encore rares dans les espaces insulaires observés mais la saturation des littoraux et la multiplication des réservoirs offrent de nouvelles possibilités de valorisation. L'analyse des divers aspects (morphologique, écologique, économique, culturel...) va nous permettre d'établir un profil de ces types de lacs.



**Photographie 57 : Les activités nautiques sur l'Etang Saint Paul
Cliché Mathelin, 2007**

Du point de morphologique et écologique, ce type de plan d'eau dit « valorisé » présente une grande diversité de situation. Les formes de lacs varient du lac d'origine volcanique à l'intérieur des terres comme cela est le cas de Grand Bassin pour l'île Maurice ou Grand Etang à La Réunion aux lacs côtiers que l'on retrouve sur les littoraux réunionnais comme l'Etang Saint Paul. De même la taille de ces plans d'eau présente la même hétérogénéité bien qu'il semble que les lacs de grande taille soient privilégiés. En effet la valorisation de ces plans d'eau impose un zonage des activités tant touristiques qu'environnementales pour éviter la mono-activité qui n'est envisageable qu'au sein de plans d'eau de grande taille. Cette logique pose aussi des problèmes du point de vue écologique. Le ski nautique à l'Etang Saint Paul (**photo.57**) par exemple, provoque des nuisances sonores pour la faune mais aussi des impacts en matière érosive du fait des vagues générées par le

passage des engins motorisés qui accentuent l'érosion des berges. Ces écosystèmes dégradés laissent alors place à des espèces exotiques envahissantes dont la capacité à s'étendre amène la destruction des espèces les plus fragiles, le plus souvent endémiques. Cette situation se retrouve à Grand Etang où la partie périphérique du lac est colonisée par des arbustes de type goyaviers et qui risquent, en l'absence d'intervention humaine, d'en envahir tout le pourtour et de conclure à la disparition des espèces endémiques. Pour limiter cette dégradation prématurée des écosystèmes, le zonage des activités reste indispensable, ainsi qu'un travail de sensibilisation de la richesse écologique de ces zones humides pour allier tourisme et protection. Ainsi la création de parcours pédagogiques et d'aménagements de stations d'observation comme cela a été effectué pour la vasière des Badamiers à Mayotte (**photo.58**) amène à sensibiliser la population et de susciter des prises de conscience des populations locales. Ce cas constitue un exemple des possibilités de valorisation²⁵⁰ des zones humides dans le sud-ouest de l'océan Indien.

Du point de vue économique et culturel, la vie de ces lacs et celle des territoires sont intimement liées. La présence de tels plans d'eau à proximité d'espaces fortement humanisés a un impact culturel prépondérant car ils constituent un point de repère pour les populations voire un lieu de vie que ces dernières s'approprient tant avec ses atouts que ses dangers. La toponymie traduit tout à fait cette appropriation avec des quartiers, deux lieux dits, des rues en rapport avec le lac. L'exemple de la commune de Saint Paul est significatif avec la présence d'un quartier dénommé « Bout de l'Étang », le « cimetière de l'étang », voire le « pont de l'étang ». Tous ces toponymes montrent le rôle structurant joué par le lac au sein de son environnement. A cette dimension culturelle s'ajoute l'impact économique lié à un tel plan d'eau. Il est évident que ces plans d'eau structurent aussi le territoire par les flux engendrés mais aussi par leur impact financier. La fréquentation d'utilisateurs autour de cette masse d'eau attire diverses structures à vocation commerciale pour répondre aux besoins des populations. Un tissu économique se développe donc autour du lac qui devient alors un acteur du territoire. Chaque épisode impactant négativement la vie du lac comme une catastrophe naturelle ou des pollutions diverses se répercute directement sur ce tissu économique. Ainsi le développement d'une activité équestre à Grand Etang à La Réunion est directement liée à la présence du lac comme le montre le nom du centre équestre « Ferme de Grand Etang ». Les périodes de hautes eaux du lac constituent un handicap à cette activité car une partie des sentiers du site est impraticable, les deux activités sont donc étroitement liées. Dans ces cas, le plan d'eau est un élément structurant du territoire mais ces situations s'avèrent assez rares dans les espaces

²⁵⁰ Projet financé par le Conservatoire du Littoral pour un budget de 135 000€

insulaires à comparer à la valorisation de certains lacs continentaux. Cet aspect ne doit pas faire oublier les pressions qui pèsent sur de tels plans d'eau.



Photographie 58 : Aménagement de la vasière des Badamiers (Mayotte)

Du point de vue de leur aménagement, ces derniers doivent quelquefois faire face à des activités contradictoires déclenchant quelquefois des conflits d'usage. Ils connaissent le plus souvent de nombreux aménagements soit au sein de la masse d'eau pour les activités nautiques (pontons, zones de baignade, passerelles...) soit autour de la masse d'eau pour favoriser les activités pédestres (sentiers, panneaux...), sportives (parcours VTT, équestre, parcours sportifs) ou la détente (kiosque, terrains de boules, bancs...) et l'accessibilité au plan d'eau. Le Grand Etang de La Réunion montre un exemple de conflit d'usage, ainsi le lac dispose d'un sentier qui accueille de nombreuses randonnées équestres (**photo.59**). Cette activité constitue un des supports essentiel de la valorisation de ce lac avec un trajet au cœur d'un écosystème exceptionnel qui sert d'argument principal pour attirer les touristes dans cette zone reculée de l'île. Cependant la cohabitation avec des activités comme le VTT ou le quad constitue des conflit entre les usagers. Le cas du Grand Bassin à Maurice nous donne un autre exemple des difficultés à faire cohabiter des activités diverses sur des espaces réduits. En effet le plan d'eau attire de nombreux fidèles hindouistes du monde entier ainsi que des touristes venus observer les divers sanctuaires autour du lac. L'aménagement des berges a ainsi fortement modifié l'aspect naturel du lac pour répondre à une volonté de rendre ce lieu sacré accessible au plus grand nombre. Cependant l'afflux de touristes tout au long de l'année et le développement d'un aspect mercantile favorisent au contraire une désacralisation des lieux.

Tous ces aménagements engendrent des nuisances et des pollutions sur les divers écosystèmes. L'artificialisation des berges et de l'ensemble de la zone humide remettent en cause la fonction naturelle de ces lacs qui deviennent des espaces complémentaires aux espaces récréatifs

habituels (plages, lagons...). Ainsi la création de la route digue (Nationale 1 permettant de dévier du centre ville) et des diverses retenues autour de l'Etang Saint Paul a totalement bouleversé le fonctionnement naturel du lac avec l'assèchement total des parties amont au profit de la zone en eau à l'aval. Les aménagements permettent certes une valorisation mais ils doivent s'effectuer dans un cadre durable pour réduire les impacts sur des écosystèmes fragiles. Il n'est pas envisageable de sacrifier la biodiversité de certaines zones humides pour le développement d'activités balnéaires saisonnières. La construction d'un ponton, d'une plage ou l'aménagement d'un parc a des conséquences directes ou indirectes sur la masse d'eau. La composante du développement durable tant dans la réflexion sur les structures que l'impact sur les paysages s'avère fondamental. Un aménagement doit s'intégrer sans dénaturer le site. L'enjeu de ce modèle de valorisation des lacs insulaires résulte donc dans la recherche d'un juste équilibre entre valorisation et protection.



Photographie 59 : Les randonnées à cheval pour la découverte du Grand Etang, 2009

L'exemple de l'Etang Saint Paul va nous permettre d'illustrer concrètement ce modèle de valorisation où une réflexion s'est engagée afin de faire cohabiter les activités touristiques, nautiques et agricoles avec la volonté de protection d'écosystèmes rares. Cependant des incohérences de gestion apparaissent du fait d'une politique envisagée par accoup et non pensée dans sa globalité.

Ce lac permanent d'une quinzaine d'hectares s'inscrit plus largement dans une zone humide de 447ha dans lesquels s'épanouit plus de 25 espèces d'oiseaux, 13 espèces de poissons et plus de 150 espèces de plantes différentes, ce qui fait de ce site un espace naturel sensible. Cette richesse ainsi que sa fragilité ont très tôt été observée avec la mise en place de politiques de valorisation par l'intermédiaire de parcours pédagogiques permettant de sensibiliser les populations aux enjeux

écologiques du plan d'eau²⁵¹. Cependant le manque de moyens et les choix politiques l'ont réduit. Il faudra attendre la mise en réserve naturelle de 2009 pour établir de nouvelles stratégies.

Le zonage (**fig.76**) établi au sein de la zone humide avec 249ha placés en protection forte marquée par une réglementation spécifique et un accès restreint alors la zone périphérique de 198ha favorise le développement d'activités diverses (agriculture, aquaculture, sports nautiques...). La dimension réglementaire de la réserve naturelle limite les activités les plus polluantes pour le lac, ainsi les activités d'aquaculture et d'agriculture demeurent cantonnées à la périphérie. Les activités de randonnée et d'observation des espèces animales et végétales s'effectuent dans la réserve. Seules les activités nautiques conservent une place particulière car elles s'effectuent en partie dans la zone de réserve naturelle faute d'une tranche d'eau suffisante en amont. Pour cette question la dimension économique a pris le pas sur l'écologique.

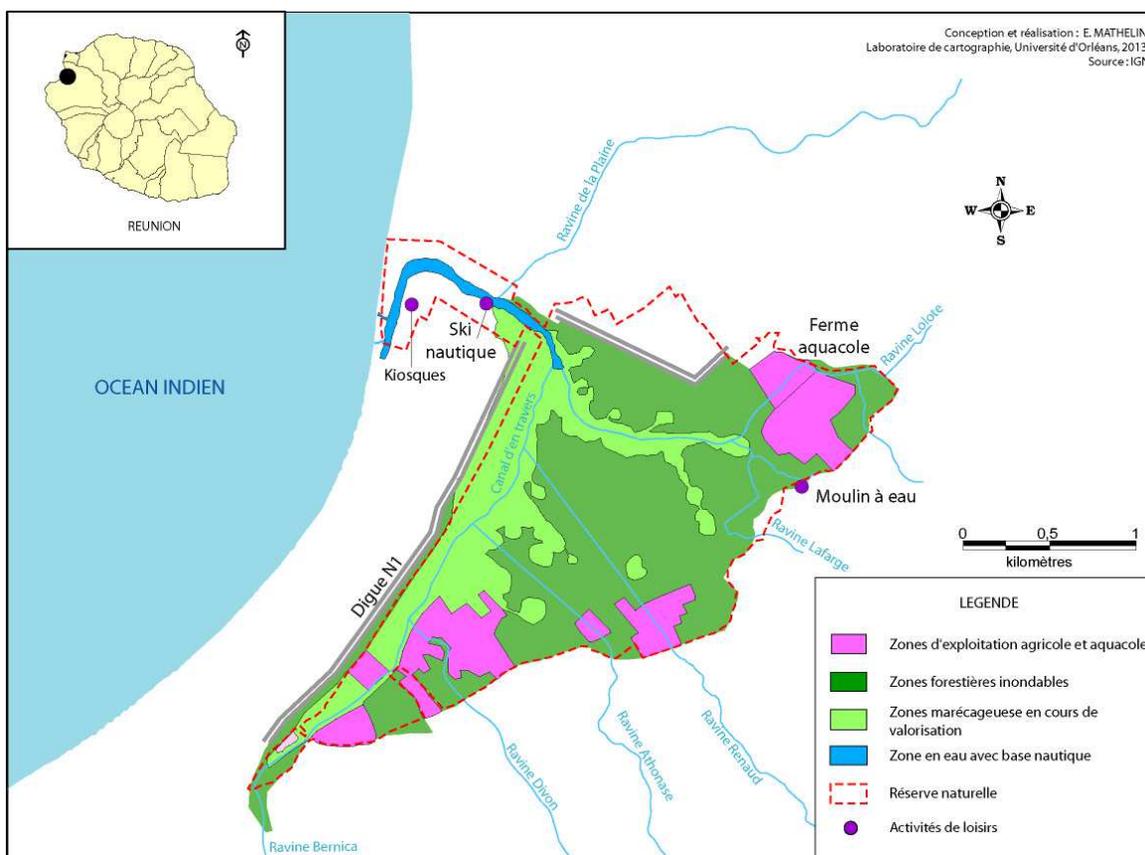


Figure 76 : La valorisation de la zone humide de Saint Paul

La gestion assurée dorénavant par la commune de Saint Paul en collaboration avec la DREAL a permis d'envisager un plan de sauvegarde de cette zone humide et de son lac principal soumis à d'importantes menaces. Concernant la nappe d'eau, la lutte contre les espèces envahissantes comme

²⁵¹ Bonnard.S, et al., 2004

les *Jacinthes d'eau*, obstruant les canaux constitue un travail important des éco-gardes qui tentent de libérer les nombreux canaux de l'Étang Saint Paul afin de restaurer les possibilités de navigation d'antan. Cependant ce travail d'arrachage s'avère particulièrement long malgré la mise à disposition d'une mini pelle flottante. Cette politique de valorisation ne pourrait s'envisager aussi sans la mise en place d'animations comme les visites guidées, des journées thématiques sur le développement durable et des visites en kayak des canaux réouverts pour sensibiliser le public à la richesse de ce lieu. A la périphérie du lac, la mise en place d'un protocole de gestion du cordon littoral facilite des interventions plus rapides voire préventives en cas d'épisodes pluvieux afin de limiter réduire l'inondation des quartiers périphériques au plan d'eau. Mais la gestion du cordon par l'intermédiaire d'un tractopelle (**photo.60**) reste archaïque et n'apporte qu'une solution temporaire à la saturation des canaux d'écoulement. De plus la construction récente d'habitations à la marge de la réserve naturelle, en pleine zone inondable traduit une incohérence de gestion et la volonté d'occuper ces terrains. Le caractère inondable de cette zone est bien connu comme en atteste la construction d'habitations sur pilotis (**photo.61**).



Photographie 60 : Le tractopelle permettant l'ouverture du cordon littoral de l'Étang Saint Paul (Réunion)



Photographie 61 : Les habitations sur pilotis construites en zone inondable à 200m de l'Étang Saint Paul (Réunion)

Cet exemple matérialise tout à fait la possibilité mais avant tout la complexité de cohabitation des activités de valorisation et des politiques de protection au sein d'un lac insulaire. Cette valorisation est d'autant plus délicate que les pressions anthropiques grandissantes (urbanisation, pollutions...) rendent les arbitrages de plus en plus délicat (**photo.62**).



**Photographie 62 : L'urbanisation aux portes de la Réserve naturelle de l'Etang Saint Paul (Réunion)
Cliché Mathelin (2013)**

Conclusion partielle :

Les logiques de valorisation envisagées dans cette quatrième partie se basent sur de multiples cas observés qui nous ont permis d'en comprendre toute la complexité. La valorisation d'un lac insulaire comme pour beaucoup d'objets géographiques répond à un équilibre entre diverses composantes.

Les acteurs sont nombreux et se déclinent par échelon administratif. Dans la situation française, la multiplicité de ces intervenants s'explique par le partage des compétences « Eau » entre différents acteurs spécialisés. Cette sectorisation pose des problèmes et bien sûr des conflits d'usage. Dans le cas de modèle, comme celui de l'île Maurice, le nombre réduit d'intervenants et la sectorisation favorise la gestion. Cependant l'ensemble des réglementations internationales voire nationales définies dans un cadre continental est difficile voire impossible à appliquer à des modèles lacustres dont les spécificités ne sont pas prises en compte. La valorisation des lacs insulaires nécessite de passer par un développement local. Ces lacs dont l'importance ne cesse de grandir avec la problématique de la ressource en eau imposent aux gestionnaires d'établir diverses stratégies afin de répartir les moyens et efforts. Dans ce contexte, une diversité de situations, émerge allant de l'abandon des masses à une véritable sacralisation. Ces multiples stratégies résultent de potentialités économiques, écologiques ou des choix politiques. Ce rapport particulier des insulaires aux lacs s'explique par un contexte culturel et socio-économique bien spécifique. En effet la place du lac dans les sociétés insulaires constitue une originalité. Les populations habitant dans une île sont majoritairement tournées vers l'espace maritime qui joue un rôle de point de ressource mais aussi de loisir dans ces territoires. Dans cette situation, le lac a du mal à se positionner car longtemps considéré comme insalubre, il n'offre qu'un potentiel touristique réduit. Les populations locales l'envisagent plus comme un simple réservoir d'eau douce voire comme un obstacle au développement local. Cette place du lac dans les sociétés insulaires est aussi conditionnée par le niveau socio-économique. Plus le degré de développement socio-économique s'accroît, plus le lac joue un rôle prépondérant. Le lac constitue donc un patrimoine et un potentiel (économique et écologique) mais sa valorisation doit s'inscrire plus globalement dans une politique de développement du territoire insulaire.

L'analyse des logiques de valorisation lacustres a donc laissé apparaître plusieurs situations évidentes présentes sur les différentes îles et qui répondent à des problématiques insulaires. Le recoupement de ces problématiques communes a abouti à une typologie des modèles de valorisation

(**tableau.8**). A partir de ces situations basées sur des cas précis nous avons pu analyser les atouts et limites de chacune d'elle et tenter de proposer des solutions d'aménagement lorsque cela était nécessaire. Mais ces modèles de valorisation restent en perpétuelle évolution.

Tableau 8 : Répartition des différents terrains d'étude en fonction de leurs logiques de valorisation

	Maurice (12)	Réunion (4)	Mayotte (3)	Comores (2)
Les « petits lacs » naturels		Etang de Bois Rouge	Lac Dziané	Lac Boudoumi Lac Salé
Les retenues collinaires et lac-réservoir	Mare aux Vacoas Midlands Mare Longue La Ferme Piton du milieu Nicolière Tamarin falls Eau bleue Cascade Valetta Dagotière		Réservoir-lac Combani Réservoir-lac Dzoumogné	
Les lacs valorisés	Garnd Bassin	Grand Etang Etang Saint Paul Etang du Gol		

Conclusion générale :

Les lacs insulaires constituent comme nous l'avons montré des objets géographiques originaux particulièrement rares dont l'importance en milieu insulaire ne cesse de croître. En effet la problématique de la ressource en eau croisée au développement des sociétés insulaires impose la recherche de nouvelles solutions pour répondre à des besoins grandissants. Les îles du sud-ouest de l'océan Indien répondent tout à fait à cette problématique d'autant plus que l'hétérogénéité des contextes (économiques, sociales, culturelles...) offre des situations très contrastées. Dans ce contexte insulaire soumis à un stress hydrique croissant, le lac joue un rôle essentiel car il représente un point de ressource en eau douce, directement disponible. La rareté ainsi que la taille réduite des lacs insulaires naturels a imposé aux sociétés insulaires d'en créer d'autres plus aptes à répondre à leurs besoins. Cependant la gestion de telles structures anthropiques nécessite une bonne connaissance des hydrosystèmes lacustres naturels en milieu insulaire pour lesquels les recherches étaient encore rares.

Dans ce cadre de cette étude, la mise en place d'un raisonnement scalaire a été indispensable pour appréhender l'ensemble de la problématique. A petite échelle, un travail de recensement des principales masses d'eau lacustres a été effectué sur les différentes îles de la zone du sud-ouest de l'océan Indien. Cette observation approfondie de ces territoires insulaires a permis d'établir une classification pour différencier les types de lacs et de les repositionner au sein de la hiérarchie mondiale. De cette classification, ressortent deux modèles lacustres distincts : le lac insulaire d'origine naturelle, le lac réservoir d'origine anthropique. Les lacs insulaires d'origine naturelle correspondent à de petits lacs (quelques hectares), très anciens (plusieurs milliers d'années) dont la formation est directement liée à l'histoire géologique des îles car ils s'épanouissent le plus souvent au sein de dépressions structurales plus ou moins étendues. Au contraire, les lacs-réservoirs d'origine anthropique correspondent à des entités plus vastes (plusieurs dizaines d'hectares) et plus récentes (inférieures à cent ans). Ils fonctionnent comme de véritables étangs avec une structure vidangeable à laquelle ont été ajoutées des mécanismes d'adduction d'eau. Les Hommes ont aussi recréé ces lacs artificiels pour répondre à leurs besoins grandissants. Ces deux modèles de lacs constituent un support commun dans cette problématique de la ressource en eau.

A plus grande échelle, l'observation de plans d'eau représentatifs du contexte insulaire a conduit à établir une cartographie précise. Le travail croisé entre l'utilisation de cartes existantes et des sorties de terrain a permis d'actualiser certaines données anciennes. La réalisation de modèles numériques de terrain a servi à établir une modélisation des paysages de certains bassins d'alimentation pour prendre conscience de toute leur complexité (pente, végétation, réseau hydrographique...). Lorsque les conditions matérielles le permettaient, la construction de

bathymétries encore inédites ont permis de préciser la connaissance des cuvettes lacustres pour identifier certains modelés mais aussi effectuer certaines mesures morphométriques. Le choix de certains plans d'eau représentatifs et la construction d'une cartographie originale croisée avec des analyses de terrain ont eu pour finalité d'établir de véritables fiches-profil des lacs observés. Ce travail cartographique qui n'avait été réalisé jusqu'à présent a servi de point de départ pour l'analyse des échanges entre le plan d'eau et son environnement insulaire.

A plus petite échelle, ce travail de recherche a permis de d'analyser la place du lac au sein des hydrosystèmes insulaires. L'observation, à partir de relevés de terrain mais aussi de base de données institutionnelles (DIREN, Office de l'eau, CWA...) et l'interprétation des interactions entre le lac et les hydrosystèmes insulaires ont mis en évidence les principales caractéristiques d'un lac insulaire.

Du point de vue spatial, ces lacs ont des relations hétérogènes avec l'ensemble du réseau hydrographique. Majoritairement situés en tête de bassin, l'influence de ces lacs est variable allant de l'isolement hydrologique dû à une structure endoréique à une véritable intégration du lac au réseau hydrographique avec des échanges amont-aval. Comme dans l'ensemble des modèles lacustres, le lac est dominé par son bassin d'alimentation et qui lui-même domine son aval. Cependant la présence d'exemples côtiers nous a permis d'observer une inversion de ce schéma. Du point de vue temporel, les rythmes lacustres à différentes échelles de temps se marquent par leur régularité, en dehors des épisodes exceptionnels. Le rythme des lacs insulaires, dominés par un climat tropical soumis à des alizés, connaît un cycle annuel caractérisé par des phases de remplissage et de vidange. La présence de phénomènes exceptionnels comme des dépressions tropicales voire des cyclones, caractéristiques des climats tropicaux, peut accentuer et accélérer les rythmes lacustres. Cette analyse spatio-temporelle couplée à la caractérisation de leurs écosystèmes marqués par un certain endémisme nous a permis de définir la typicité de ces lacs.

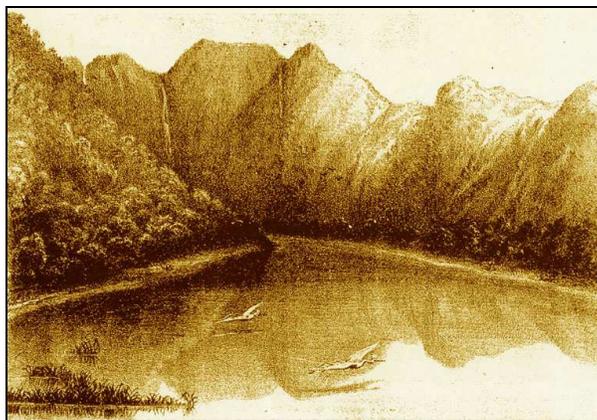
Cette dernière basée sur des composantes morphologiques, hydrologiques et biologiques dans un contexte insulaire tropical constitue un schéma de référence pour réfléchir à des plans de gestion et de valorisation. L'observation principale de rythmes naturels lacustres construit des modèles respectueux des écosystèmes, ainsi applicables à des lacs-réservoirs dont les vocations à long terme iront certainement au-delà du simple point de stockage.

Ces lacs incarnent un véritable potentiel, touristique, social ou culturel mais les politiques actuelles de valorisation des territoires insulaires les laissent trop souvent à l'écart. Celle-ci s'inscrit dans un ensemble complexe alliant jeu d'acteurs, politiques de gestion et contexte socio-économique. La diversité des acteurs intervenant sur la problématique de l'eau complexifie la gestion des espaces lacustres. En effet chacun tant au niveau national que local possède son champ

de compétences privilégiant une approche scientifique ou sociale. De plus les schémas continentaux définis par les instances nationales voire internationales rentrent en discordance avec les spécificités insulaires, la création de référentiels adaptés aux situations locales constitue donc une étape essentielle. Les politiques de gestion très hétérogènes mises en place sur ces masses d'eau montrent la diversité des situations lacustres allant de l'abandon du lac à une sacralisation du site. Le lac insulaire représente donc une structure polymorphe dont la place précise au sein des sociétés est en cours de définition. Cependant cette place dépend aussi du contexte socio-économique : le rapport à l'eau et en particulier au lac s'inscrit dans une logique de développement. La mise en place de politiques de gestion élaborées intégrant des aspects touristiques n'est envisageable que lorsque les situations de stress hydriques tendent à se réduire. Les sociétés les plus en difficulté cherchent donc dans un premier temps à répondre à leurs besoins en eau avant de valoriser leurs ressources.

La diversité des situations observables dans les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien nous a amené à établir une typologie des logiques de valorisation. L'analyse de ces exemples concrets a aidé pour en comprendre les atouts mais aussi les faiblesses. Les propositions d'aménagements envisagées dans ce travail à partir des observations de terrain mais aussi en collaboration avec les acteurs locaux ont pour but d'aider les gestionnaires à réfléchir aux potentialités représentées par les lacs insulaires et d'établir voire de rectifier leurs stratégies à partir d'exemples observés dans d'autres îles soumises aux mêmes contraintes.

Les lacs quelle que soit leur origine constituent donc un patrimoine insulaire fragile tant dans son aspect de ressource que dans sa dimension environnementale. Leur préservation à long terme correspond à un véritable enjeu pour ces sociétés insulaires dont l'exiguïté des territoires les rend plus stratégiques mais aussi plus vulnérables.



**Photographie 63 : Le lac, patrimoine et support du développement
des territoires insulaires du sud-ouest de l'océan Indien
Gravure du Grand Etang, Réunion (A.Rouussin, 1819-1894)**

Bibliographie :

- Amalric.L**, Les retenues collinaires de Mayotte : environnement et qualité biologique des eaux, 2007, BRGM, 39p
- Atlas de l'environnement de l'île de La Réunion, 2002, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 120p
- Atlas de La Réunion, 2003, CREGUR, 143p
- Atlas of Mauritius, 2007, Philip's, 48p
- Bachelard G**, L'eau et les rêves, 1942, Corti, 222p
- Bailly A** (sous dir.), Les concepts de la géographie humaine, 2004, A Colin, p333
- Banton.O**, Etude hydrogéologique d'un complexe alluvial sous climat tropical : le Grand Etang, 1985, thèse d'Etat, Université du Languedoc, 290p
- Barbey.A**, « Les migrations comoriennes dans l'ouest de l'océan Indien » in Hommes&Migrations, 2009, n°1279, p154-164
- Bartout.P, Touchart.L**, « L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface », in Annales de Géographie, 2013, n°691, p266-289
- Bartout.P**, Pour un référentiel des zones humides intérieures de milieu tempéré : l'exemple des étangs en Limousin (France), Thèse de doctorat, Université d'Orléans, 2006, 497p
- Bartout.P**, Pour un référentiel des plans d'eau : proposition d'une méthodologie et d'une typologie à l'échelle du Limousin, 2002, Mémoire de DEA de Géographie, Université de Limoges, 160p
- Bertile W**, La Réunion, département français d'outre-mer, région européenne ultrapériphérique, 2000, thèse d'Etat, Université de La Réunion
- Bertile.W**, La Réunion, Département français d'outre-mer, région européenne ultra périphérique, 2006, Océan Edition, 909p
- Blanchard.F**, Guide des milieux naturels : Réunion, Île Maurice, Rodrigue, 1999, Eugen Ulmer, 296p
- Bonnard.S, Dinhut.V, Mounien.R, Payet.A-L**, Propositions d'aménagement de l'Espace Naturel Sensible (ENS) de l'Etang de Saint-Paul, 2004, Mémoire de DESS, Université de La Réunion, 27p
- Bonnemaison .J**, « Vivre dans l'île, une approche de l'iléite océanienne », in Espace Géographique, n°2, p119-125, 1991
- Bravard JP, Petit F**, Les cours d'eau, 2000, A.Colin, 222p
- BRGM**, Etude préliminaire de l'impact du changement climatique sur les risques naturels à La Réunion, Aout 2011, Publications du BRGM, 135p
- BRGM**, Dossier Départemental des Risques Majeurs de Mayotte, Publications du BRGM, 2010, 145p

- Cader Kalla.A**, The school atlas of Mauritius, 2010, Osman, 56p
- Cadet, T**, Fleurs et plantes de La Réunion et de l'île Maurice, 1981, Ed Pacifique, 131p
- Cadet.T**, La végétation de l'île de La Réunion : étude phytoécologique et phytosociologique, 1977, thèse de doctorat, Université Aix Marseille, réédité en 1980, Chazal (Saint Denis), 312p
- Carlini.M**, Morphologie et hydrodynamique des plans d'eau :Le cas des étangs-lacs en Limousin, Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 362p
- Carsignol-Singh.A**, « La diaspora, instrument de la politique de puissance et de rayonnement de l'Inde à l'île Maurice et dans le monde », in EchoGéo, 2009, n°10, p21-23, 2009
- Cazes-Duvat V**, « Les archipels de l'ouest de l'océan Indien face à l'érosion côtière (Mascareignes, Seychelles, Maldives) », in Annales de Géographie, 2005, n°644
- Chaumeton H**, Invertébrés d'eau douce, 2002, Artémis, 143p
- Comité de Bassin de Mayotte**, SDAGE 2010-2015 de Mayotte, 2009, 96p
- Comité de Bassin de La Réunion**, SDAGE 2010-2015 de La Réunion, 2009, 116p
- Conservatoire botanique de Mascarin**, L'île de La Réunion par ses plantes, 1999, Solar, 96p
- Corbonnois.J, Jacob.N, Delahaye.D** et al. : "La recherche sur le thème de La dynamique fluviale ; processus, aléa, aménagement", Les géographies de l'eau, processus, dynamique et gestion de l'hydrosystème ssle direct. R. Laganier et G. Arnaud-Fassetta. L'Harmattan, 2009, p 229-262.
- Correira.P**, Guide pratique du GPS, 2006 , Eyrolles, 233p
- Cosandey C, Robinson M**, Hydrologie continentale, 2000, p360
- Coudray.J**, « Gestion intégrée des eaux de La Réunion : vision d'ensemble et problèmes clef », in revue Géologues n°137, 2012
- Dalama M-G**, « L'île de La Réunion et le tourisme : d'une île de la déunion à La Réunion des Hauts et Bas », in l'Espace géographique, 2005, n°4, p342-349
- Dars.R**, Géologie, 2005, PUF, 128p
- Demangeot.J**, Tropicalité, 1999, Armand Colin, 340p
- Denegre J, Salgé F**, Les Systèmes d'Information Géographique, 2004, PUF, coll. Que sais-je? n° 3122, 128p
- Dussart.B**, Limnologie, l'étude des eaux continentales, 1992, Gauthier-Villars, Paris, rééd. Boubée, 681p
- DIREN Réunion**, Inventaire patrimonial de la zone humide du Grand Etang, 2005, 18p
- Doumenge J.P**, L'outre mer français, 2000, A.Colin, p275
- Eve.P et Wanquet.C**, Histoire de La Réunion, Hachette, 2001, 127p
- Fischesser.B**, Le guide illustré de l'écologie, 2007, Ed de la Martinière, 349p
- Gay J-C**, L'outre mer français, 2003, Belin, p220

- Gay J-C**, L'outre-mer français en mouvement, Paris, La Documentation française, coll. «La Documentation photographique» n° 8031, 64 p
- George.P**, Dictionnaire de la Géographie, 2006, PUF, 472p
- Génin.B, Chauvin.C, Ménard.F**, Cours d'eau et indices biologiques, 1997, ENESAD-CNERTA, p 202
- GIEC**, Changements climatiques en 2007, rapport de synthèse, 2008, Publications du GIEC, 114p
- Giroir.G**, « Les lacs sacrés en Chine et Mongolie au défi du développement durable », 2007, Zones Humides Info, ministère de l'Environnement/Société nationale de protection de la nature, 2p
- Giroir.G**, « La notion de "limnosystème sacré" : le cas des lacs bordiers de la Russie, Kanas (Xinjiang, Chine) et Khövsgöl (Mongolie) », in Actes de la conférence franco-russe d'Évian « Du lac Baïkal à la mer d'Aral et du Léman à l'océan. Eau et développement durable dans l'ère de la globalisation. Approches comparatives en Russie, CEI et Eurasie », 2008, Dialogues Européens d'Évian, p127-138
- Godard.A et Tabeaud.**, Les climats, 1998, Armand Colin, 192p
- Goulan.V**, Les macroinvertébrés aquatiques des étangs de La Réunion, 2001, mémoire de Maîtrise, Université de La Réunion, 41p
- Graviou.R et Rançon.J-Ph**, Inventaire des sites et objets remarquables de Mayotte, 2001, BRGM, 95p
- Guébourg.J-L**, « La question de l'eau dans l'océan Indien », in Actes du FIG, 2003
- Guébourg.J-L**, Petites îles et archipels de l'océan Indien, 2006, Karthala, 526p
- Haumann.K**, « Supplementing water supply to Mare aux Vacoas Reservoir in Mauritius », in 13th International Riversymposium, Johannesburg, 2007, 44p
- Hellier E.** (coord.), Carré C., Dupont N., Laurent F., Vaucelle S., La France. La ressource en eau : usages, gestions et enjeux territoriaux, 2009, Armand Colin U, coll. Géographie, 309 p.
- Histoire-Géographie pour le lycée, Hatier international, 2003, 144p
- Institut d'Emission des Département d'Outre-Mer (OEDOM)**, La Réunion en 2006, 2007, Publications OEDOM , 276p
- Institut d'Emission des Département d'Outre-Mer (OEDOM)**, La Réunion en 2009, 2010, Publications OEDOM, 204p
- Ishiguro.N, Touchart.L**, « Les lacs japonais », in Annales de Géographie, 1999, 108, n°606, p115-13311
- Keith P, Vigneux E, Bosc P**, Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de La Réunion, 1999, Patrimoines naturels (MNHN/SPN), 136p
- Lacoste.M, Delbosc.P, Picot.F**, Cahiers d'habitats de La Réunion, zones humides, Rapport technique n°6, 2011, Conservatoire des Mascariens, 230p

- Lacoste.Y**, De la géopolitique aux paysages, 2003, Armand Colin, 414p
- Leboulanger.C**, Retenues collinaires de Mayotte : caractérisation hydrobiologique des eaux des réservoirs de Combani et Dzoumogné, 2008, IRD, 68p
- Le Borgne.J**, La climatologie dans le sud-ouest de l'océan Indien, ORSTOM, 1987, 685p
- Lepart J, Marty P**, « Des réserves de nature aux territoires de la biodiversité », in Annales de Géographie, 2006, n°651
- Leroux.M**, Les échelles du climat et la classification génétique des climats tropicaux. Univ. 1989, Jean Moulin/CNRS UA 260, Lyon, Publication de l'AIC. Vol.2, p. 163-170
- Lévi-Strauss C**, Tristes tropiques, 1984, Terre Humaine, 502p
- Lévy.J et Lussault.M**, Dictionnaire de la Géographie et de l'espace des sociétés, 2004, Belin, p1033
- Maleval.V, Jigorel.A**, « La sédimentation dans un lac artificiel. Exemple de Saint Pardoux, massif d'Ambazac, Limousin, France », in Géomorphologie, 2002, n°4, p307-320
- Manuel du secondaire 6^{ème}-5^{ème} programmes pour La Réunion, 2002, Hatier International, 96p
- Manuel du secondaire 4^{ème}-3^{ème} programmes pour La Réunion, 2002, Hatier International, 96p
- Mathelin. E**, Méthodologie de l'étude des lacs insulaires : l'exemple du Grand Etang de La Réunion, 2007, mémoire de Master 2, Université d'Orléans, 142p
- Mathelin.E**, Etude hydrologique des vidanges d'étangs en Limousin : un phénomène à l'interaction entre plans d'eau et émissaire, 2003, mémoire de maîtrise, Université de Limoges, 154p
- Merlin. S**, Etude du peuplement ichtyologique de l'Etang de Saint Paul, 1996, Rapport de DESS, Université de Franche Comté , 50p
- Météofrance**, Bulletin climatologique 2005 de La Réunion, 2006, 108p
- Ministère de l'écologie et du développement durable**, Dossier d'enquête publique pour la création du parc naturel de La Réunion, 2006, Publications du Ministère de l'écologie , 63p
- Minvielle. E, Souiah. A-A**, L'analyse statistique et spatiale, 2003, Ed du Temps, 285p
- Nicolas.T**, « L'hypo-insularité, une nouvelle condition insulaire : l'exemple des Antilles françaises », in l'Espace géographique, 2005, n°4, p329-341
- Office national de l'Eau et des milieux aquatiques (ONEMA)**, « L'indice poissons rivière (IPR), notice de présentation et d'utilisation », 2006, Publications de l'Onema, 20p
- Papon.P**, Les plans d'eau superficiels : définition, fonctionnement, aménagements : étude du lac Balaton, du lac de Grand-Lieu et de l'étang de Cieux, 2007, thèse de Doctorat, Université de Limoges, 311p
- Pourriot. R, Meybeck. M**, Limnologie générale, 1995, Masson, 956p
- Reclus. E**, Histoire d'un ruisseau, 1869, Babel, 215p

- Rousseau. C**, « Le transfert des eaux de Salazie à La Réunion », in Sciences et Industrie, n°822, 2005, p51-55
- Roussin. A**, Album de l'île de La Réunion, 2004, Orphie, 578p
- Staszak. J-F**, Géographies de Gaugin, 2003, Bréal, 254p
- Tachet.H, Bournaud.M, Richoux.PH**. Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces, 1984 Université Claude Bernard Lyon I, 151p
- Taglioni, F**, "Au fil des îles et des océans ...". Préface de l'ouvrage "Océan et îles. Le 6ième continent, point d'ancrage de la mondialisation in Martinaud, C ; Paris, F. Paris, Ellipses, 2013, p4-5
- Taglioni. F**, "Développement durable et petits espaces insulaires" in Taglioni, F. (dir.), Insularité et développement durable, Montpellier, IRD Editions, collection "Objectifs Suds", 2011, p. 31-37
- Taglioni. F**, "L'insularisme : une rhétorique bien huilée dans les petits espaces insulaires" in Sevin, O. et alii (dir). Comme un parfum d'île. Paris, Presse Universitaire Paris-Sorbonne (PUUPS), 2010, p421-435
- Taglioni. F**, "Le tourisme dans le sud-ouest de l'océan Indien : une durabilité à géométrie variable" in Vo Sang, XL (dir.), Le tourisme durable, un instrument d'aide à la lutte contre la pauvreté ? Hanoi, Agence universitaire francophone (AUF)/Université Van Lang, 2009, p154-169
- Taglioni. F**, "Mayotte s'ancre dans la république française. Un contre-sens de l'histoire ?", Echogéo, rubrique "Sur le vif", 2009
- Taglioni. F**, « Les petits espaces insulaires face à la variabilité de leur insularité et de leur statut politique », Annales de Géographie, n°652, 2006, p24-47
- Taglioni. F**, "Les espaces francophones du bassin india-océanique en quête de coopération régionale", 2003, Saint-Denis, Université de La Réunion, coll. "Travaux et documents", n°20, p213-237
- Territoire Côte Ouest (TCO)**, « Elaboration du SAGE Ouest », 2005, Publications du TCO, p186-205
- Tilot.V**, Etude de l'environnement marin et côtier, et des aspects socio-économique de la pêche autour de l'île de Mohéli, 1994, Projet PNUD, 142p
- Touchart. L**, Les lacs, origine et morphologie, 2000, Harmattan, 205p
- Touchart. L**, Limnologie physique et dynamique, 2002, Harmattan, 395p
- Touchart. L**, Hydrologie, mers, fleuves et lacs, 2003, Campus, 190p
- Touchart.L, Graffouillère.M**, Les étangs limousins en questions, 2004, Editions de l'AIGLE, 180p
- Vaillant. Z**, La Réunion, koman i lé ?, 2008, PUF, 252p

Webographie :

JIR, « Il y a 1400ans, un lac dans Mafate ! », sur <http://www.clicanoo.re>, 04/04/2004

JIR, « 5 ans pour sauver l'Etang de Saint-Paul (La Réunion) », sur <http://www.clicanoo.re>, 15/06/2009

L'info.re, « Le quartier de Grande Fontaine à Saint Paul inondé », sur <http://www.linfo.re>, 04/02/2010

L'info.re, « Le quartier de Grande Fontaine à Saint Paul inondé », sur <http://www.linfo.re>, 04/02/2010

L'info.re, « L'Ouest en attente du basculement des eaux », sur <http://www.linfo.re>, 6/07/2013

L'info.re, « Des espèces en danger à l'Etang Saint-Paul », sur <http://www.linfo.re>, 22/07/2013

L'info.re, « Label Unesco : quel impact sur le tourisme ? », sur <http://www.linfo.re>, 01/08/2013

Le Mauricien, «Eau, une faible pression qui fait monter la tension», sur www.lemauricien.com, 05/06/2011

Le Mauricien, « Eau 2012, une année charnière », sur www.lemauricien.com, 27/12/2011

Le Mauricien, « 3E SITE RAMSAR:Le gouvernement s'engage à préserver les zones humides a déclaré Satish Faugoo », sur www.lemauricien.com, 10/02/2012

Le Mauricien, « Cap-Malheureux: La construction d'un bâtiment inquiète les forces vives », sur www.lemauricien.com, 11/03/2012

Le Mauricien, « "WETLANDS": Demande d'injonction des forces vives de Cap-Malheureux », sur www.lemauricien.com, 06/08/2012.

Le Matinal, « Midlands Dam à la rescousse des réservoirs », sur <http://www.lematinal.com/>, 18/01/2012

Outre mer 1^{ère}, "A La Réunion, la présence de requins n'est pas du tout exploitée", sur <http://www.la1ere.fr>, 03/07/2013

TE.ME.UM, « Les effets du classement des pitons, cirques et remparts de La Réunion sur la liste du Patrimoine mondial de l'UNESCO », sur www.temeum.espaces-naturels.fr, 31/10/2010

Zinfo974, « Claude Hoarau : "L'Etang du Gol retrouvera son niveau d'ici quelques jours" », sur <http://www.clicanoo.re>, 10/11/09

Zinfo974, « Maurice obtient 8,9 milliards de roupies de Hu Jintao », <http://www.zinfos974.com>, 18/02/2009

Table des illustrations :

Figures :

Figure 1 : Carte de localisation du sud-ouest de l'océan Indien.....	9
Figure 2 : Principales îles et archipels du sud-ouest de l'océan Indien.....	17
Figure 3 : Carte des fonds sous marins de l'océan Indien.....	19
Figure 4 : La formation d'un atoll.....	19
Figure 5 : Carte de Bourbon par Flacourt	21
Figure 6 : Carte de l'Isle de France.....	22
Figure 7 : Carte de l'île de La Réunion de Lislet Geoffroy	23
Figure 8 : Carte des principales aires religieuses et de leur influence dans le sud-ouest de l'océan Indien.....	25
Figure 9 : L'inégale répartition eau-population dans une île tropicale, l'exemple de La Réunion ...	29
Figure 10 : Les inégalités de richesses dans le sud-ouest de l'océan Indien	31
Figure 11 : L'éboulement de Mahavel.....	36
Figure 12 : Carte de la zone climatique du sud-ouest de l'océan Indien	38
Figure 13 : Diagramme pluviométrique de Dzoumogné (Mayotte).....	39
Figure 14 : Formation d'un cyclone tropical.....	40
Figure 15 : Schéma du cycle de l'eau en milieu insulaire, l'exemple de la façade occidentale de La Réunion.....	42
Figure 16 : L'écoulement souterrain	44
Figure 17 : Méthodologie du recensement des lacs insulaires	57
Figure 18 : La limnité du sud-ouest de l'océan Indien.....	59
Figure 19 : Recensement des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.....	62
Figure 20: Classification des masses lacustres du sud-ouest de l'océan Indien.....	65
Figure 21 : Schéma d'un lac naturel d'origine volcanique	66
Figure 22 : Schémas de lacs naturels dus aux grands agents de transport	68
Figure 23 : Schéma d'un lac de barrage	70
Figure 24 : Schéma d'un lac hybride.....	71
Figure 25 : Planche de présentation du lac Dziani (Mayotte)	73
Figure 26 : Modèle numérique de terrain du site du lac Dziani (Mayotte).....	74
Figure 27 : Planche de présentation de Grand Bassin (Maurice)	76
Figure 28 : Modèle numérique de terrain du site de Grand Bassin (Maurice).....	77
Figure 29: Planche de présentation du Grand Etang (Réunion).....	80

Figure 30 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation du Grand Etang (Réunion).....	81
Figure 31 : Planche de présentation de l'Etang Saint Paul (Réunion)	83
Figure 32 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation de l'Etang Saint Paul (Réunion)	84
Figure 33 : Planche de présentation du réservoir de Combani (Mayotte).....	86
Figure 34 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation de Combani (Mayotte).....	87
Figure 35 : Planche de présentation du réservoir de Dzoumogné (Mayotte).....	88
Figure 36 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation de Dzoumogné (Mayotte).....	89
Figure 37 : Planche de présentation du réservoir des Midlands (Maurice).....	92
Figure 38 : Modèle numérique de terrain du bassin d'alimentation du réservoir des Midlands (Maurice)	93
Figure 39 : Planche de présentation de la Mare aux Vacoas (Maurice)	96
Figure 40 : Modèle numérique de terrain du réservoir de la Mare aux Vacoas (Maurice).....	97
Figure 41 : Méthodologie du travail de géolocalisation	102
Figure 42 : Méthodologie de la construction des MNT	107
Figure 43 : Méthodologie de la modélisation des cuvettes lacustres.....	109
Figure 44 : Piezomètre de Kani Kéli (sud-ouest de Mayotte).....	116
Figure 45 : Méthodologie de l'étude des paysages lacustres	124
Figure 46 : Comparaison de la morphologie des bassins d'alimentation des lacs insulaires du sud- ouest de l'océan Indien	130
Figure 47 : Modélisation de la cuvette lacustre du Grand Etang (Réunion)	138
Figure 48 : Les modelés lacustres du Grand Etang	139
Figure 49 : Evolution de la surface lacustre de l'Etang Saint Paul (Réunion).....	142
Figure 50 : Structure d'un lac- réservoir, l'exemple de la Mare aux Vacoas (Maurice)	144
Figure 51 : Grand Etang (Réunion), suivi moyen mensuel du niveau du lac (2004-2007)	148
Figure 52 : Etang Saint Paul (Réunion), suivi moyen mensuel du niveau du lac (1994-2007)	149
Figure 53 : Schématisation des cycles lacustres dans les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.....	151
Figure 54 : Grand Etang (Réunion), phase de remplissage (2005-2006).....	154
Figure 55 : Réservoir de Combani (Mayotte), phase de remplissage (2007-2008).....	154
Figure 56 : Grand Etang (Réunion), phase de vidange (2006).....	156
Figure 57 : Réservoir de Combani (Mayotte), phase de vidange (2008).....	157
Figure 58 : Etang Saint Paul (Réunion), phase de vidange (2005).....	158
Figure 59 : Impact du cyclone Gamède en février 2007 sur le Grand Etang (Réunion)	161
Figure 60 : Impact du cyclone Gamède en février 2007 sur l'Etang Saint Paul (Réunion)	162
Figure 61 : La problématique de la pente dans les bassins d'alimentation des lacs insulaires.....	165

Figure 62 : Répartition et évolution de la population au sein du bassin d'alimentation de l'Etang Saint Paul (Réunion)	168
Figure 63 : Modélisation des distances d'impact d'un curage de lac-réservoir	172
Figure 64 : La déforestation de l'île Maurice (1772-1968)	175
Figure 65 : Carte des formations végétales du Grand Etang.....	182
Figure 66 : La toposéquence du Grand Etang	183
Figure 67 : Evolution des formations végétales du bassin d'alimentation de l'Etang Saint Paul (Réunion)	187
Figure 68 : Synthèse de la typicité des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.....	192
Figure 69 : Les logiques de valorisation des lacs insulaires.....	194
Figure 70 : Découpage hydrologique du territoire français	199
Figure 71 : Calendrier du SDAGE de Mayotte	201
Figure 72 : Parc naturel de La Réunion	216
Figure 73 : Parcs naturels de l'île Maurice	217
Figure 74 : Les inégalités de développement dans le sud-ouest de l'océan Indien.....	226
Figure 75 : Le transfert des eaux à La Réunion.....	230
Figure 76 : La valorisation de la zone humide de Saint Paul.....	243

Photographies :

Photographie 1 : Le Grand Etang, un exemple caractéristique de lac insulaire	12
Photographie 2 : Vue aérienne du lac Dziani Dzaha (Mayotte).....	20
Photographie 3 : Statue de dieux hindous à Grand Bassin (Maurice)	26
Photographie 4 : Vue du barrage hydroélectrique de Takamaka I (Réunion).....	34
Photographie 5 : Lit majeur de la Rivière des Galets (Réunion).....	46
Photographie 6 : Le réservoir de la Mare aux Vacoas (Maurice).....	48
Photographie 7 : <i>Les montagnes tahitiennes</i> , P Gauguin, 1893	53
Photographie 8 : Mare Kerval (Réunion).....	56
Photographie 9 : Réservoir de Combani (Mayotte).....	61
Photographie 10 : Station météorologique de la Mare aux Vacoas (Maurice).....	110
Photographie 11 : L'échelle limnimétrique du Grand Etang (Réunion).....	114
Photographie 12 : Station enregistreuse de l'Etang Saint Paul (Réunion)	114
Photographie 13 : Un papangue.....	119
Photographie 14 : Macroinvertébrés caractéristiques des plans d'eau de La Réunion	121
Photographie 15 : Le lac de barrage de Takamaka 2 en partie comblé	131

Photographie 16 : Le lac Dziani (Mayotte)	136
Photographie 17 : Le lac Pavin (Auvergne)	136
Photographie 18 : Erosion des berges de l'Etang Saint Paul (Réunion).....	140
Photographie 19 : Un modelé d'accumulation lacustre (Mare aux Vacoas à Maurice).....	140
Photographie 20 : L'émissaire naturel de l'Etang Saint Paul (Réunion)	143
Photographie 21 : Exemple de pelle de vidange.....	145
Photographie 22 : Exemple d'un système de moine	145
Photographie 23 : Déversoir de surface et de crue du réservoir des Midlands (Maurice).....	146
Photographie 24 : Fissuration de la couche sédimentaire dans le Grand Etang.....	156
Photographie 25 : Grand Etang, en période de basses eaux (octobre 2006)	161
Photographie 26 : Grand Etang, après le passage de Gamède (février 2007)	161
Photographie 27 : Le cassé de la rivière de l'Est (Réunion).....	166
Photographie 28 : L'aval du réservoir des Midlands (Maurice)	170
Photographie 29 : La vasière des Badamiers (Mayotte)	177
Photographie 30 : Le carassin doré.....	181
Photographie 31 : La grenouille des Mascareignes	181
Photographie 32 : La formation à fougères (<i>Cyclosorus interruptus</i>) à Grand Etang (Réunion) ...	184
Photographie 33 : Envahissement de la mare de Cilaos par des Jacinthes d'eau douce	188
Photographie 34 : Les restrictions du site de la Mare aux Vacoas (Maurice).....	189
Photographie 35 : Parc naturel de La Réunion.....	196
Photographie 36 : Eboulis de Salazie en 2010 formant un lac temporaire	197
Photographie 37 : Site de l'ARDA (Réunion)	203
Photographie 38 : L'entrée du sentier du lac Dziani (Mayotte).....	207
Photographie 39 : Mare de Bélouve (Réunion)	208
Photographie 40 : Grand Etang (Réunion), inondé et inaccessible en saison humide.....	210
Photographie 41 : La Mare aux Vacoas (Maurice), à un niveau e remplissage critique	211
Photographie 42 : L'Etang Du Gol (Réunion), l'exemple d'une ZNIEFF	214
Photographie 43 : Signalisation de la réserve naturelle de l'Etang Saint Paul (Réunion).....	215
Photographie 44 : Grand Bassin (Maurice), un lac sacré.....	219
Photographie 45 : Statue de Shiva à l'entrée du site de Grand Bassin.....	220
Photographie 46 : Le lac Salé (Grande Comore).....	221
Photographie 47 : Les eaux couleur émeraude du lac Dziani (Mayotte)	223
Photographie 48 : L'aménagement du site de l'Etang Saint Paul (Réunion)	224
Photographie 49 : Citernes aux Comores.....	225
Photographie 50 : Réservoir de Combani (Mayotte).....	227

Photographie 51 : Le réservoir des Midlands.....	228
Photographie 52 : Le Piton de l'eau, lac de cratère (Réunion)	231
Photographie 53 : Le lac Dziani (Mayotte)	232
Photographie 54 : Le réservoir de Combani (Mayotte), période de basses eaux	234
Photographie 55 : Le réservoir des Midlands (Maurice), l'exemple d'un réservoir moderne	235
Photographie 56 : La Mare aux Vacoas (Maurice) lors de la sécheresse de 2012	236
Photographie 57 : Les activités nautiques sur l'Etang Saint Paul	239
Photographie 58 : Aménagement de la vasière des Badamiers (Mayotte).....	241
Photographie 59 : Les randonnées à cheval pour la découverte du Grand Etang, 2009.....	242
Photographie 60 : Le tractopelle permettant l'ouverture du cordon littoral de l'Etang Saint Paul (Réunion)	244
Photographie 61 : Les habitations sur pilotis construites en zone inondable à 200m de l'Etang Saint Paul (Réunion)	244
Photographie 62 : L'urbanisation aux portes de la Réserve naturelle de l'Etang Saint Paul (Réunion)	245
Photographie 63 : Le lac, patrimoine et support du développement	251

Tableaux :

Tableau 1 : Iles et archipels dans le sud-ouest de l'océan Indien.....	16
Tableau 2 : Mise en relation de la topographie insulaire et des précipitations	42
Tableau 3 : Opposition de façade et gradient altitudinal dans un espace insulaire, l'exemple de La Réunion.....	43
Tableau 4 : Les principales masses d'eau du sud-ouest de l'océan Indien retenues	58
Tableau 5 : Evolution de la capacité du réservoir de la Mare aux Vacoas de 1885 à 2013.....	95
Tableau 6 : Caractéristiques des principaux bassins d'alimentation des lacs observés.....	128
Tableau 7 : Caractéristiques principales des cuvettes lacustres observées	136
Tableau 8 : Répartition des différents terrains d'étude en fonction de leurs logiques de valorisation	247

Table des matières :

Remerciements	4
Introduction générale	7
1. L'eau et les lacs dans le contexte insulaire du sud-ouest de l'océan Indien	14
Chapitre 1.1. Le sud-ouest de l'océan Indien, des territoires insulaires en mutation confrontés à la problématique de la ressource en eau.....	15
1.1.1. Une diversité de paysages insulaires façonnés par le volcanisme.....	15
1.1.2. La lente construction et différenciation des territoires insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.....	20
1.1.3. Le poids de l'identité insulaire dans les paysages.....	24
1.1.4. Des populations en pleine croissance confrontées au manque d'eau.....	27
1.1.5. Les inégalités de développement et la question de l'eau dans le sud-ouest de l'océan Indien.....	30
Chapitre 1.2. Le lac dans les milieux insulaires du sud-ouest de l'océan Indien, un marqueur des enjeux de la problématique de la ressource en eau.....	32
1.2.1. Le paradoxe de l'eau douce : les hydrosystèmes lacustres entre bienfaits et menaces ...	32
1.2.1.1. Bienfaits et usages des eaux lacustres.....	32
1.2.1.2. Les hydrosystèmes lacustres, source de menaces.....	35
1.2.2. Des hydrosystèmes lacustres rythmés par des climats tropicaux.....	37
1.2.3. Le cycle de l'eau dans les espaces insulaires, l'exemple du cycle lacustre.....	40
1.2.3.1. Les précipitations, principal apport pour les lacs.....	41
1.2.3.2. Le lac, témoin de la richesse des eaux souterraines.....	43
1.2.3.3. Les hydrosystèmes lacustres, du cours d'eau au plan d'eau.....	45
Conclusion partielle	49
2. Les lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien ; recensement, classification, méthodologie de l'analyse	50
Chapitre 2.1. Le lac insulaire, une entité géographique originale.....	51
2.1.1. Le lac insulaire, un objet géographique à part entière.....	51
2.1.2. Recensement des lacs insulaires.....	54
2.1.2.1. Bilan global du recensement.....	58
2.1.2.2. Bilan par île.....	60
2.1.3. Classification des lacs insulaires.....	63
2.1.3.1. Principes de classification.....	63

2.1.3.2. Proposition de classification morphologique des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.....	64
Chapitre 2.2. Présentation des principaux terrains d'étude.....	71
2.2.1. Les lacs naturels d'origine volcanique.....	72
2.2.1.1. Dziani Dzaha à Mayotte.....	72
2.2.1.2. Grand Bassin à Maurice.....	75
2.2.2. Les lacs naturels dus aux grands agents de transport.....	78
2.2.2.1. Grand Etang à La Réunion.....	78
2.2.2.2. L'Etang Saint Paul à La Réunion.....	79
2.2.3. Les lacs de barrage artificiels.....	85
2.2.3.1. Les réservoirs de Combani et Dzoumogné à Mayotte.....	85
2.2.3.2. Le réservoir des Midlands à Maurice.....	90
2.2.4. Les lacs hybrides (origine naturelle ayant subi une anthropisation).....	94
Chapitre 2.3. Méthodologie de l'analyse des lacs insulaires.....	99
2.3.1. Méthodologie de l'analyse morphologique.....	99
2.3.1.1. Géolocalisation.....	100
2.3.1.2. Les SIG et les modèles numériques de terrain (MNT).....	103
2.3.1.3. L'application des MNT à la modélisation des cuvettes lacustres.....	105
2.3.2 Méthodologie de l'analyse hydrologique.....	108
2.3.2.1. Données pluviométriques.....	108
2.3.2.2. Données hydrométriques.....	112
2.3.2.3. Données piézométriques.....	115
2.3.3 Méthodologie de l'analyse biologique.....	117
2.3.3.1. Espèces faunistiques.....	118
2.3.3.2. Espèces floristiques.....	121
Conclusion partielle :	125
3. Analyse des limnosystèmes insulaires dans le sud-ouest de l'océan Indien.....	126
Chapitre 3.1. Analyse morphologique des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.....	127
3.1.1. Les caractéristiques des bassins d'alimentation.....	127
3.1.2. Les caractéristiques des cuvettes lacustres.....	133
3.1.3. Les caractéristiques des émissaires.....	142
Chapitre 3.2. Analyse des comportements hydrologiques des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.....	146
3.2.1. Echelles d'analyses temporelles.....	147
3.2.1.1. Echelle interannuelle.....	147

3.2.1.2. Echelle annuelle.....	150
3.2.1.3. Episodes exceptionnels.	159
3.2.2. Echelles d'analyses spatiales.	163
3.2.2.1. Interactions amont (bassin alim-lac).	164
3.2.2.2. Interactions aval (impacts sur les hydrosystèmes / échange océaan-lac).....	168
Chapitre 3.3. Observations des écosystèmes des lacs insulaires.	174
3.3.1. Le rôle des écosystèmes lacustres et des zones humides dans les espaces insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.....	174
3.3.2. Des plantes endémiques aux pestes végétales.....	178
3.3.3. Les menaces sur les écosystèmes.	184
Conclusion partielle :	190
4. Les logiques de valorisation des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien.....	193
Chapitre 4.1. Les acteurs de la valorisation lacustre : les spécificités insulaires.....	194
4.1.1. L'échelon national et international, l'impossible transposition.	195
4.1.2. Le bassin hydrographique, un découpage hydrologique global.....	198
4.1.3. Département et Région, deux acteurs pour un même territoire.....	201
4.1.4. La commune, un acteur de proximité.	204
Chapitre 4.2. Les politiques de gestion des lacs insulaires : des rythmes naturels à l'artificialisation des fonctionnements lacustres.	206
4.2.1. L'absence de gestion et l'abandon.....	206
4.2.2. Le suivi scientifique de l'évolution du lac.....	208
4.2.3. La mise sous protection ou réserve.....	213
4.2.4. La sacralisation du lac.....	217
Chapitre 4.3. Des stratégies de valorisation influencées par les spécificités culturelles et socio-économiques du sud-ouest de l'océan Indien.....	222
4.3.1. La place culturelle du lac dans les sociétés insulaires.	222
4.3.2. Le poids des conditions socio-économiques dans les stratégies de valorisation.....	225
Chapitre 4.4. Les modèles de valorisation des lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien : de l'exploitation à la protection.	229
4.4.1. Les « petits lacs » naturels, des points d'eau originaux voire mythiques à valoriser....	230
4.4.2. De la retenue collinaire au lac-réservoir, une stratégie de survie hydrique.	233
4.4.3. Le lac valorisé, conflit d'usage entre développement touristique et protection de la biodiversité.....	239
Conclusion partielle :	246
Conclusion générale :	248

Bibliographie :	253
Webographie :.....	258
Table des illustrations :	259
Table des matières :	264

Eric MATHELIN

Les lacs insulaires du sud-ouest de l'océan Indien, un enjeu pour la gestion durable de la ressource en eau.

Le lac insulaire constitue un objet géographique tout à fait original par sa structure d'isolat. Il est une véritable réserve d'eau douce plus ou moins vaste, au sein d'espaces insulaires étroits dominés par un environnement maritime. D'origine naturelle ou anthropique, ces lacs s'inscrivent dans la problématique complexe de la ressource en eau de ces territoires étroits soumis à des contraintes grandissantes (démographie, urbanisation, pollutions...). Le sud-ouest de l'océan Indien, composé d'îles très différentes, constitue un territoire privilégié pour une analyse comparative de ces lacs et de leur place au sein des sociétés insulaires. Ce travail a permis dans un premier temps de recenser et de classer les principales masses d'eau de la zone. A partir d'un échantillon de lacs, leurs spécificités ont été observées pour caractériser leur morphologie (cuvette lacustre et bassins d'alimentation), leur comportement hydrologique et leurs écosystèmes. Cette analyse a permis de souligner la dimension montagneuse, tropicale et le poids de l'endémisme pour ces plans d'eau. La typicité de ces lacs apparaît par le croisement de ces composantes qui s'ajoutent au contexte insulaire où le stress hydrique impose des valorisations spécifiques. L'étude des acteurs, des politiques de gestion et des contextes insulaires a permis de mieux appréhender la place du lac dans les sociétés du sud-ouest de l'océan Indien. En effet, ces plans d'eau, longtemps marginalisés par rapport au littoral, deviennent progressivement un atout et un véritable support au développement de ces territoires. Les contrastes de valorisation d'un lac à l'autre imposent une réflexion à long terme pour que les potentialités de ces masses d'eau soient adaptées avec les besoins durables des populations insulaires.

Mots clés : lac, insularité, sud-ouest océan Indien, eau, hydrologie, limnologie, développement durable

Island lakes in the south-west of the Indian ocean, an issue to sustainable management in water resource

The island lake constitutes an absolutely original geographical subject with its isolate system. It is a true fresh water reserve, that is more or less wide, inside narrow island areas dominated by a sea environment. Those lakes, which are from natural or anthropological origin, are inscribed in the complex problem of the water resources of those narrow territories, that are subject to growing constraints – demography, urbanization, pollutions... Composed of very different islands, the South West of the Indian Ocean makes up a privileged territory for a comparative analysis of those lakes and their place inside island societies. First of all this work has allowed to list and classify the main bodies of water in the area. From a sample of lakes, their specificities have been examined to characterize their morphologies – lakeside depression and supply basin – their water performances and their ecosystem. This analysis has allowed to highlight the mountainous and tropical dimensions and the weight of those lakes' endemism. Their typicality appears thanks to the intersecting of the components that can be added to the island context in which the hydric stress imposes specific exploitation. The study of the actors, the management policies and the island situation has allowed to better comprehend the place of the lake in the societies in the South West of the Indian Ocean. Indeed those lakes, which have long been marginalized compared to the coast, have progressively become an asset and a true medium to the development of those territories. The contrast of exploitations from a lake to another imposes a long-term reflection so that the potentialities of those water bodies fit the sustainable needs of island populations.

Key-words: lake, insularity, South West Indian Ocean, water, hydrology, limnology, sustainable development

**Laboratoire EA 1210 CEDETE
UFR LLSH
10 Rue de Tours BP 46527
45065 Orléans cedex 2**