Université de La Réunion

Ecole Doctorale Lettres et Sciences Humaines

UMR 228 ESPACE-DEV

Thèse de Doctorat en Géographie

Recul et persistance du paludisme en Union des Comores : une approche géographique pour déterminer l'importance des facteurs environnementaux et sociaux dans son maintien

Présentée et soutenue publiquement par :

ARTADJI ATTOUMANE

Le 8 Février 2019

La Réunion

Membres du jury :

Jean Gaudart, Professeur, PU-PH, Université Aix-Marseille, rapporteur

Annelise Tran, Directrice de recherche, HDR, CIRAD, rapporteur

Gwenaëlle Pennober, Professeur, Université de La Réunion, directrice

Eric Cardinale, Directeur de recherche, HDR, CIRAD, co-directeur

Vincent Herbreteau, Chargé de recherche, IRD, encadrant

Morgan Mangeas, Chargé de recherche, HDR, IRD, examinateur

Silai Rahamatou, Parasitologue, PNLP Comores, invitée

Remerciements

Mes sincères remerciements s'adressent, en premier lieu, aux encadrants scientifiques de ce travail ; Gwenaëlle PENNOBER (directrice), Eric CARDINALE (codirecteur) et Vincent HERBRETEAU (coordinateur scientifique) pour l'accompagnement pédagogique et technique et la confiance témoignée à mon égard. Je me permets de remercier, particulièrement, Vincent HERBRETEAU qui n'a ménagé aucun effort pour l'aboutissement de cette thèse. Votre plein investissement sur l'élaboration des projets, sur l'obtention de ma bourse de thèse, sur l'organisation des missions de terrain aux Comores et votre appui didactique m'ont été d'une importance capitale pour mener à bien ce projet. Je souhaiterais vous remercier pour m'avoir accompagné dans mon installation sur l'île de la Réunion. Je souhaiterais vivement remercier Dr Afane Bacar et Madame Rahamatou Silai pour l'encadrement technique de cette thèse.

En deuxième lieu, je souhaiterais remercier sincèrement toutes les institutions qui ont apporté leur soutien financier : l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) pour la bourse ARTS (Allocation de Recherche pour une Thèse au Sud), la Préfecture de La Réunion et le Fonds de Coopération Régionale pour le financement du projet « **GeoH2O-Comores** » et l'Université de La Réunion et l'UMR ESPACE-DEV pour m'avoir accueilli dans leur équipe à la Station SEAS-OI et pour le financement des missions et la participation aux conférences. D'autres institutions ont aussi contribué pour que je puisse prendre part à des conférences scientifiques, notamment l'Ambassade de France en Afrique du Sud, La COI (Commission de l'Océan Indien) à travers le projet « **One health OI** », les comités d'organisation de la conférence GEOBIA et du Congrès Européen de Médecine tropicale et de Santé Internationale (**ECTMIH**).

J'adresse mes sincères remerciements aux rapporteurs et aux examinateurs de cette thèse qui ont bien voulu assurer le jury de ce travail.

Je souhaiterais remercier toutes les institutions qui ont apporté un appui pour le bon déroulement de cette thèse, notamment :

- la Direction Générale de la Santé et le Programme National de Lutte contre le paludisme pour avoir fourni les données épidémiologiques et cliniques et appuyé le déroulement du projet « **GeoH2O-Comores** » ;

- l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques pour avoir fourni les données démographiques ;

- l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie pour avoir mis à disposition des données météorologiques ;

- l'équipe de la Surveillance intégrée des Maladies et Ripostes (Dr Mohamed Sainda) pour la mise à disposition des données sur les maladies liées à l'eau et le paludisme aux Comores ;

- la Station de Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellite pour l'Ocean Indien (SEAS-OI) pour avoir fourni les images satellite.

Mes remerciements vont à l'endroit de Christophe Révillion, Phillipe Rouet et Didier Bouche pour leur soutien méthodologique et technique. Je n'oublierais pas de remercier les collègues de la Station SEAS-OI pour leur accueil et l'ambiance collégiale notamment Pierre Tessier, Stephane Guyard, Matthias Belus, Guy Boussougou Boussougou, Mathilde André, Jérémy Commins, Annabel Céleste pour ne citer que ceux-là.

Mes vifs remerciements s'adressent à l'endroit de Dr Aboubacar Said Anli, Dr Mohamed Hafidhou, Dr Marie Anne, Dr Abdali Mari, Dr Faouzou Aboubacar et Msaidié Mohamed pour leurs collaborations dans l'organisation des missions aux Comores. Je n'oublierais pas de remercier également les collègues du PNLP, notamment Madame Astafieva Marina, Dr Amina Yssouf, Ali Toilibou, Ahamadi Daroueche pour ne citer que ceux-là.

Je ne manquerais pas de remercier les personnes qui m'ont accompagné dans ma vie sur l'île de La Réunion notamment la famille de Mohamed Chinoi, la famille de mademoiselle Asma Mnemoi Hassani, la famille de madame Guy Zelma et mes collègues étudiants comoriens (Anziz Mohamed Abdou, Nasserdine Rachad et Hachim Said Ahmed).

J'adresse mes chaleureux remerciements à mes parents et à tous les membres de ma famille qui se trouvent aux Comores, à Mayotte, à Marseille et à Paris pour leur soutien moral. Mes remerciements vont également à mes beaux parents et à ma belle famille.

Je dédie cette thèse à deux femmes (Madame Habiba Abdou et Madame Fourahati Ahamda Moi Mtsahoi) qui m'ont apporté le réconfort, le courage et l'énergie nécessaire pour continuer

à travailler jour et nuit afin d'aboutir à ce titre de Docteur. Vous avez su être patientes durant mon absence, mais aussi durant les moments difficiles.

J'ai une pensée profonde à mon cousin Fakri Mhoma Sabitte, mort du paludisme en 2004 à l'âge de 10 ans. J'ai partagé avec toi le même lit et les meilleurs moments de la vie. C'est pour toi que j'ai réalisé cette thèse pour contribuer à son élimination.

Table des matières

REMERCIEMENTS ---------- III
TABLE DES MATIERES ---------- VII
INTRODUCTION GENERALE ---------- 1
CHAPITRE 1 : LE PALUDISME, UNE MALADIE ENDEMIQUE EN VOIE D'ELIMINATION EN UNION DES COMORES ---------- 8
1.1 DE L'ARCHIPEL DES COMORES A L'UNION DES COMORES ---------- 10
1.1.1 Trois îles volcaniques à contraintes orographiques différentes ---------- 11
1.1.2 Un climat tropical humide favorable à la transmission des maladies vectorielles ---------- 18
1.1.3 Une colonisation précoce et une population toujours en forte croissance ---------- 23
1.2 OFFRE, ACCES ET RECOURS AUX SOINS DANS L'UNION DES COMORES : DES INEGALITES ENCORE FORTES 34
1.2.1 Une organisation administrative complexe ---------- 35
1.2.1.1 Administration nationale ---------- 35
1.2.1.2 Administration régionale ---------- 36
1.2.2 Une offre de soins variée et un accès souvent difficile ---------- 37
1.2.2.1 Organisation de l'offre de soins ---------- 37
1.2.2.2 Une offre de soins publics importante mais inégale ---------- 39
1.2.2.3 Une offre de soins privés concentrée dans les centres urbains ---------- 44
1.2.3 Un recours aux soins inégal ---------- 45
1.2.4 Situation sanitaire ---------- 46
1.2.4.1 Maladies transmissibles et non transmissibles ---------- 46
1.3 L'ELIMINATION DU PALUDISME, UN DEFI DE SANTE AUX COMORES ET DANS LE MONDE ---------- 49
1.3.1 État du paludisme dans le monde ---------- 49
1.3.2 Historique du paludisme aux Comores ---------- 54
1.3.3 La lutte contre le paludisme : un engagement du gouvernement comorien ---------- 62
CHAPITRE 2 : ÉPIDEMIOLOGIE SPATIALE DU PALUDISME EN UNION DES COMORES --- 75
2.1 INTRODUCTION ---------- 76
2.2 METHODOLOGIES ---------- 77
2.2.1 Mise en place d'une base de données épidémiologique et démographique ---------- 77
2.2.2 Échelles d'étude et sources des données ---------- 80
2.2.3 Cartographies et analyses statistiques ---------- 81
2.2.3.1 Cartographies de la prévalence, de l'incidence du paludisme et des actions de lutte -------- 81
2.2.3.2 Analyses statistiques ---------- 81
2.3 RESULTATS ---------- 82
2.3.1 Prévalence du paludisme en milieu hospitalier ---------- 82
2.3.2 Evolution du diagnostic, du traitement des cas simples et de la prévention du paludisme chez les femmes enceintes ---------- 90
2.3.3 Incidence du paludisme à l'échelle des districts sanitaires ---------- 92

2.3.4 Actions de contrôle et d'élimination du paludisme ---- 98
2.4 DISCUSSION ---- 101
CHAPITRE 3 : ANALYSE SPATIALE DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX FAVORISANT LA TRANSMISSION DU PALUDISME ---- 104
3.1 ANALYSE DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX FAVORABLES A LA TRANSMISSION DU PALUDISME AUX COMORES A L'ECHELLE DES DISTRICTS SANITAIRES DE 2010 A 2014 ---- 106
3.1.1 Introduction ---- 106
3.1.2 Méthodologies ---- 107
3.1.2.1 Données environnementales support à l'analyse du contexte environnementale ---- 107
3.1.2.2 Analyses spatiales et statistiques ---- 112
3.1.3 Résultats ---- 113
3.1.3.1 Occupation du sol ---- 113
3.1.3.2 Corrélation et régression linéaire ---- 115
3.1.4 Discussion ---- 117
3.2 PALUDISME ET ENVIRONNEMENT : RECHERCHE D'INDICATEURS PAYSAGERS SPECIFIQUES DE SA REPARTITION DANS LES VILLAGES DE GRANDE COMORE ---- 120
3.3 DISCUSSION ---- 152
CHAPITRE 4 : ANALYSE DES FACTEURS DE VULNERABILITE DES POPULATIONS FACE AU PALUDISME 154
4.1 INTRODUCTION ---- 155
4.2 METHODOLOGIES ---- 156
4.2.1 Organisation et éthique ---- 156
4.2.1.1 Choix méthodologiques et échantillonnage ---- 157
4.2.1.2 Réalisation des questionnaires ---- 160
4.2.1.3 Déroulement de l'enquête ---- 161
4.2.2 Analyses statitisques ---- 164
4.3 RESULTATS ---- 165
4.3.1 L'accès à l'eau des ménages ---- 165
4.3.2 L'accès aux soins des ménages ---- 174
4.3.3 L'utilisation des moustiquaires ---- 182
4.3.4 Paludisme et vulnérabilité des populations au regard de l'accès à l'eau, de l'accès aux soins et de l'utilisation des moustiquaires à la Grande Comore ---- 186
4.3.4.1 Incidence du paludisme dans les villes et les villages enquêtés à la Grande Comore ---- 186
4.3.4.2 Corrélation entre facteurs socio-économiques et incidence du paludisme ---- 187
4.4 DISCUSSION ---- 190
DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALES ---- 195
BIBLIOGRAPHIE ---- 203
LISTE DES ACRONYMES ---- 213
LISTE DES FIGURES ---- 216
LISTE DES TABLEAUX ---- 219

LISTE DES PHOTOGRAPHIES ---------- 220
LISTE DES ANNEXES ---------- 221
RESUME 245

INTRODUCTION GENERALE

Analyse du contexte

L'élimination du paludisme, définie comme l'interruption de la transmission locale du parasite, reste un défi majeur de santé publique dans le monde. Dans son dernier rapport sur le paludisme en 2018[1], l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) rappelle que l'Afrique supporte une part disproportionnée de la charge mondiale du paludisme avec plus de 92 % des cas et 93 % des décès dus au paludisme en 2017. Bien que les pays de l'Afrique subsaharienne les plus touchés par le paludisme aient adopté la stratégie de lutte mondiale 2016-2030 et bénéficient de plus de 70 % des fonds mondiaux de lutte contre le paludisme, ils n'enregistrent, durant la période 2010-2016, qu'une faible baisse de l'incidence (20 %) et de la mortalité (37 %) par rapport aux autres régions membres de l'OMS. Cette tendance en Afrique complique la mission mondiale de réduire de 40 % l'incidence et la mortalité due au paludisme et d'éliminer le paludisme dans dix pays d'ici 2020. Plusieurs de ces pays d'Afrique ont connu une reprise très significative des cas de paludisme entre 2015-2017. Pourtant en 2015, 21 pays dans le monde, dont 6 pays africains[2], ont été classés dans la catégorie des pays ayant « la possibilité d'atteindre 0 cas indigène d'ici 2020 ». Le rapport d'évaluation[3] sur la situation épidémiologique des 21 pays montre que tous les pays d'Afrique excepté l'Algérie ont notifié plus de 1000 cas indigènes en 2017 contrairement à la majorité des pays des autres régions de l'OMS qui ont notifié moins de 100 cas indigènes. L'Union des Comores figure parmi ces pays d'Afrique où le nombre de cas indigènes de paludisme a augmenté par rapport à 2015[3].

Le paludisme est devenu depuis 1925 une endémie majeure en Union des Comores (Ouledi, 2003). Cette maladie a eu différentes phases depuis 1925, date de la plus grande épidémie de paludisme connue (Raynal, 1928b). Depuis, l'archipel des Comores a subi d'autres épidémies de paludisme avec deux années remarquables : 1955 et 1976. En 1955, 18 000 cas de paludisme sont enregistrés pour une population estimée à 160 000 habitants, soit une prévalence de 11 % (World Health Organization, 1951). En 1976, plus de 30 000 cas sont signalés pour une population estimée à 309 000 habitants soit près de 10 % de la population

[1] World malaria report 2018: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275867/9789241565653-eng.pdf
[2] Les six pays d'Afrique : Algérie, Botswana, Cap Vert, Comores, Swaziland et Sud Afrique.
[3] Update on the e-2020 initiative of 21 Malaria-Eliminating Countries : http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/273633/WHO-CDS-GMP-2018.13-eng.pdf?ua=1

(World Health Organization, 1983). Durant cette période, si on note l'absence d'une stratégie nationale solide d'élimination de la maladie, plusieurs mesures anti-larvaires, anti-vecteurs et de traitement des parasites ont été en expérimentation sur des secteurs spécifiques des îles (Blanchy et Benthein, 1989 ; Julvez et Galtier, 1989 ; Sabatinelli *et al.*, 1991 ; Julvez *et al.*, 1987). Après 1976, le paludisme est devenu une maladie permanente sur l'ensemble des îles de l'archipel des Comores avec un indice plasmodique supérieur à 25 % (Galtier et Blanchy, 1982 ; Blanchy *et al*., 1987). Il faudra attendre 1987, après plus de 10 ans d'instabilité politique, pour que l'archipel des Comores, profitant de la stratégie mondiale de lutte contre le paludisme et de la filariose de Brancroft, mette en place un programme national de lutte antipaludique. Des équipes de surveillance seront constituées à partir de 1993 (Ouledi, 1995). Dans ce contexte, des actions de lutte ont alors été engagées sur l'ensemble du territoire notamment sous la forme de distributions de moustiquaires, de pulvérisations intra-domiciliaires d'insecticides et d'actions de lutte anti-larvaire. Ainsi, le nombre de cas de paludisme n'a jamais dépassé 20 000 cas de 1993 à 2000. Un problème de résistance des parasites à la chloroquine, médicament de traitement du paludisme, a été identifié aux Comores depuis les années 1980 (Eichenlaub et Pohle, 1980). Cette résistance s'est développée davantage durant les années 1980 et 1990 (Blanchy et Benthein, 1989 ; Julvez et Galtier, 1989). Cela va entraîner une forte augmentation des cas de paludisme durant les années 2000. En 2004, plus de 40 000 cas de paludisme ont été notifiés aux Comores. Le nombre de cas a depuis augmenté très rapidement, entre 45 000 et 55 000 cas de paludisme par année entre 2004 et 2009. D'autres molécules de traitement du paludisme ont alors été expérimentées, notamment l'Artemether-luméfantrine avec des résultats satisfaisants (Tall *et al.*, 2004 ; 2007). Cette molécule a été adoptée dans le traitement du paludisme sur l'ensemble des îles. Bien que ces médicaments traitent bien le paludisme, en 2010, plus de 100 000 cas de paludisme ont été notifiés aux Comores. Ce chiffre historique est le résultat d'une meilleure investigation du paludisme sur l'ensemble des îles des Comores grâce au soutien financier du Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP) par le Fonds Mondial de la Santé et l'adoption d'un Plan Stratégique National de lutte contre le paludisme. Pour aller vers l'élimination du paludisme, des campagnes de traitement de masse à base d'Artemisinine, une autre molécule expérimentée sur l'île de Mohéli entre 2007 et 2009 par une équipe chinoise avec des résultats très concluants (Li *et al.,* 2010), ont été étendues sur les autres îles entre 2011 et 2013. Ces campagnes ont été à l'origine d'une forte diminution du paludisme depuis plus de 15 ans (Toyb *et al.,* 2016). Ainsi en 2015, l'Union des Comores est classée parmi les pays à potentiel d'élimination du paludisme d'ici 2020. Mais la situation épidémiologique du

paludisme de 2017 montre une tendance inverse. Les facteurs explicatifs de cette recrudescence du paludisme sont à chercher ailleurs. L'évolution épidémiologique du paludisme n'est pas uniquement contrôlée par les mesures de lutte et de traitement. L'environnement et le climat ont une influence sur les vecteurs, et donc indirectement sur le paludisme (Mouchet, 2004).

La transmission du paludisme sur les îles de l'archipel est interdépendante des facteurs écologiques et climatiques favorables aux vecteurs (Blanchy *et al*., 1987). *Anopheles gambiae* et *Anopheles funestus* sont les vecteurs majeurs assurant la transmission du paludisme aux Comores (Blanchy *et al*., 1987). *An. gambiae* recherche l'eau dans les citernes à la Grande Comore, dans les ruisseaux, les rizières et les marécages à Anjouan et à Mohéli. *An. gambiae* est l'espèce dominante sur l'ensemble de l'archipel contrairement à *An. funestus* qui est uniquement présente à Anjouan dans les marécages et les gîtes ombragés (Blanchy *et al.*, 1987). En saison des pluies, on observe une plus forte densité de vecteurs car en saison sèche les gîtes larvaires sont asséchés (Mouchet, 2004). Aux Comores, les vecteurs s'adaptent mieux dans les zones littorales de faible altitude (Chauvet, 1968). Il y a ainsi une stratification du paludisme selon l'altitude et selon les versants (Blanchy et al., 1999 ; Ouledi, 2003).

La Grande Comore est depuis l'épidémie de 1925 l'île la plus impaludée de l'archipel des Comores. Le maintien de cette forte endémicité serait associé à l'abondance des citernes de collecte d'eau dans l'ensemble des villages (Blanchy *et al*., 1999). La présence de l'eau pendant et après la saison des pluies dans les citernes favorise le maintien des gîtes larvaires. Les citernes présentes sur les autres îles n'auraient pas d'influence sur la constance du paludisme en raison de leur faible nombre. Selon Ahmed Ouledi (2003), le paludisme serait hyperendémique toute l'année sur les versants ouest plus arrosés, hyperendémique en saison des pluies sur les versants nord moyennement arrosés et méso endémique ou hypo endémique pendant la saison sèche sur les versants est des îles. La description de la variation et la stratification du paludisme en fonction des facteurs climatiques et environnementaux sont faites sur des analyses descriptives. Les relations entre le paludisme et les facteurs environnementaux et climatiques peuvent être analysées spatialement en utilisant des données de télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG).

Ces approches ont été utilisées dans plusieurs études pour identifier les facteurs environnementaux en lien avec la transmission des maladies (Hay et al., 2004 ; Tanser, le Sueur, 2002 ; Moss et al., 2011 ; Herbreteau et al., 2007 ; 2018) notamment le paludisme (Yu,

Tang, 2004 ; Krefis et al., 2011). L'utilisation des images satellites a permis d'étudier les relations entre occupation du sol et paludisme (Stefani et al., 2013 ; Li, 2016 ; Machault et al., 2011). Des indices issus du traitement d'images satellites tels que le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Inde*x) ont été utilisés pour comprendre l'environnement écologique des vecteurs (Fastring et Griffith, 2009). Les données spatiales permettent une bonne caractérisation de l'habitat écologique des vecteurs et du milieu de vie des populations humaines. Ces approches spatiales n'ont pas encore été utilisées pour l'analyse de l'évolution du paludisme aux Comores. Pourtant, dans un contexte insulaire, elles peuvent révéler les variations spatiales intra et inter-îles des facteurs à risque du paludisme. L'expérimentation de ces approches spatiales dans un pays en voie d'élimination du paludisme peut aider à identifier les zones à haute et à faible transmission afin de mieux cibler les stratégies et les actions de lutte.

Problématique

L'Union des Comores a adopté depuis 2010 une stratégie de lutte contre le paludisme avec comme ambition d'atteindre zéro cas indigène en 2016[4]. Face à cette grande ambition politique, le gouvernement comorien a eu recours au soutien financier de ses partenaires multi et bilatéraux. Plus de 4,5 millions de dollars US ont été débloqués pour la lutte contre le paludisme par le Fonds Mondial (97,8 %) et l'OMS (2,2 %)[5]. Différentes actions de lutte ont été engagées depuis 2010, notamment les campagnes de distribution de masse de moustiquaires imprégnées d'insecticide, de pulvérisation intra-domiciliaire d'insecticide et en dernier lieu le traitement de masse à base d'artémisinine. Ces actions de lutte ont eu un impact plus important sur Mohéli et Anjouan que sur la Grande Comore. De ce fait, la Grande Comore reste en phase de contrôle tandis que les autres îles sont en phase d'élimination. Dans ce contexte, le premier axe de recherche de cette thèse vise à éclairer l'influence des actions de lutte sur la baisse du paludisme en tentant de répondre à deux questions principales :

- ✓ **Quel est l'impact des actions de contrôle sur l'incidence du paludisme sur chaque île** ?
- ✓ **Comment et pourquoi le paludisme se maintient surtout en Grande Comore** ?

[4] Rapport Plan Stratégique National de Lutte contre le Paludisme, Union des Comores, 2012.
[5] Données annexes du Rapport Mondiale du Paludisme 2013.

Dans ce contexte de grande influence des actions de lutte sur la maladie, le second axe de recherche questionne **les facteurs environnementaux pouvant agir sur la transmission du paludisme** :

- **sont-ils les mêmes sur les trois îles ?**
- **à quelles échelles spatiales peut-on les étudier ?**

Bien qu'on ait observé une diminution importante du paludisme au cours des dernières années, l'Union des Comores n'a pas atteint ses objectifs d'élimination du paludisme en 2016[4]. Depuis 2016, il y a eu une recrudescence des cas de paludisme et des décès en Grande Comore. Cette reprise a été observée sur Anjouan et Mohéli depuis 2017. Elle tend à démontrer l'échec des actions de lutte surtout à la Grande Comore malgré l'effort déployé par le PNLP et l'investissement de millions de francs comoriens ces dernières années[1]. Un troisième axe de recherche vise ainsi à comprendre si la vulnérabilité des populations au paludisme peut aussi éclairer son épidémiologie :

- ✓ **Quels sont les facteurs qui déterminent la vulnérabilité des populations au paludisme** ?
  - **Sont-ils les mêmes entre les trois îles** ?
  - **À quelles échelles peut-on les déterminer** ?

Source des données

Plusieurs jeux de données ont été produits et mobilisés dans cette étude afin de répondre à nos hypothèses. Les données épidémiologiques ont été l'élément fondamental pour caractériser l'évolution spatio-temporelle du paludisme sur l'ensemble des îles. Ces données ont été fournies par le Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP) de l'Union des Comores. Dans le cadre de cette thèse qui a bénéficié d'allocation doctorale de l'IRD (Programme ARTS : Allocation de Recherche pour une Thèse au Sud), une convention de partenariat (IRD/PNLP) a été signée permettant le partage des données et l'accueil dans les locaux du PNLP. D'autres jeux de données sur les actions de lutte ont été également fournis par le PNLP et des institutions du Ministère de la Santé de l'Union des Comores sous l'égide du PNLP. Autre jeu fondamental de données dans cette approche géographique du paludisme, l'imagerie satellitaire a été utilisé pour caractériser l'occupation du sol des îles Comores, un indicateur du contexte écologique des vecteurs du paludisme et de l'environnement physique des populations. La Station de Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellite pour

l'océan Indien (SEAS-OI) a fourni des images multispectrales et panchromatiques SPOT 5 sur les trois îles. Une enquête sur les facteurs de vulnérabilité des populations vis-à-vis des maladies liées à l'eau et au paludisme a été réalisée et constitue notre troisième jeu de données. Cette enquête a bénéficié d'un financement du Fonds de Coopération Régionale de l'État français (FCR).

Structuration de la thèse :

Le premier chapitre de cette thèse introduit le paludisme dans un contexte global puis localement aux Comores. L'Union des Comores est tout d'abord décrite dans son contexte géographique, climatique et démographique. Ensuite, la description du système de santé et de l'état de santé de la population comorienne permet de replacer le paludisme parmi les problématiques sanitaires. La troisième partie présente la situation du paludisme dans le monde, en Afrique et aux Comores, et les différentes stratégies de lutte.

Les chapitres 2 à 4 répondent aux trois objectifs et axes de recherche soulevés dans la problématique :

Le Premier objectif est de caractériser l'expression spatio-temporelle de l'épidémiologie du paludisme et de l'impact des actions de contrôle de 2010 à 2017. Il s'agit de cartographier l'évolution de l'incidence du paludisme à différentes échelles spatiales et temporelles. L'incidence du paludisme est aussi analysée au regard des différentes actions de lutte conduites sur les trois îles. Des analyses spatiales plus locales visant à l'identification d'agrégats (clusters) ont pu être réalisées sur la Grande Comore, où l'épidémie est persistante, où des données ont été disponibles à l'échelle des villages en 2016.

Le Deuxième objectif est d'identifier les facteurs environnementaux favorisant la transmission du paludisme à différentes échelles. Pour ce faire, nous produirons par l'exploitation d'images satellitaires des indicateurs environnementaux et paysagers que nous utiliserons pour appréhender les liens de linéarité avec l'incidence du paludisme à différentes échelles.

Le Troisième objectif est de caractériser les facteurs de vulnérabilité des populations. Une enquête sur les perceptions et les pratiques des populations a été organisée sur un échantillonnage des ménages des trois îles afin d'évaluer les facteurs géographiques et

humains qui conditionnent la vulnérabilité des populations vis-à-vis des maladies liées à l'eau, dont indirectement le paludisme. De cette enquête, nous avons déterminé les relations entre certains facteurs et le paludisme à l'échelle des villages à la Grande Comore.

Chapitre 1 : Le Paludisme, une maladie endémique en voie d'élimination en Union des Comores

Le paludisme aurait été introduit dans l'Archipel des Comores au début du XIX^{iéme} siècle lors du débarquement de pirates malgaches à la recherche des esclaves (Julvez et Blanchy, 1988 ; Julvez *et al*., 1990). De terribles épidémies du paludisme ont sévi sur ces îles durant les saisons pluvieuses de 1923 et 1925 (Raynal, 1928b ; 1928a). Le climat humide et pluvieux a ainsi été un facteur déterminant dans l'éclatement des épidémies de paludisme. Le maintien du paludisme sur ces îles aurait été favorisé par la construction des citernes de collecte d'eau de pluie à la Grande Comore et du réseau hydrographique sur les autres îles (Blanchy *et al*., 1987). Les citernes ont constitué des gîtes larvaires favorables pour le développement d'*Anopheles gambiae* (Chauvet, 1968). Ces conditions climatiques, géomorphologiques et anthropologiques ont été à l'origine du maintien du paludisme comme maladie endémique (Julvez *et al*., 1987 ; Julvez, 1995 ; Ouledi, 1995 ; Blanchy *et al*., 1999). Le paludisme est resté une épidémie majeure sur l'Archipel des Comores au XXième siècle, malgré des actions de lutte lancées dès la fin des années 1970 pour l'éradiquer.

En 1976, l'île de Mayotte a développé, indépendamment de ses trois îles sœurs, un programme de lutte contre le paludisme basé sur plusieurs actions : la lutte intégrée dans le système de santé, la lutte antilarvaire et la pulvérisation intra-domiciliaires d'insecticide (Julvez *et al*., 1987 ; Halidi, 1995). Après 10 années de lutte, les résultats ont été spectaculaires à Mayotte où seuls 3 cas indigènes de paludisme ont été notifiés en 1986 (Julvez *et al.*, 1987). Mayotte a toujours maintenu ces programmes de lutte durant les années 1990 et 2000 (Halidi, 1995 ; Galtier et Blanchy, 1982 ; Receveur *et al*., 2004). En 2011, l'île est entrée dans une phase d'élimination avec moins d'un cas pour 1000 habitants (Maillard *et al*., 2015). Dans les trois autres îles de l'Archipel des Comores, il a fallu attendre 1987 pour qu'un programme de lutte antipaludique soit lancé (Ouledi, 1995). Ce programme a été basé sur la prise en charge du diagnostic et du traitement des malades mais également la lutte anti-vectorielle. L'adoption d'une politique nationale de lutte contre le paludisme et la filariose en 1992 avait permis le renforcement de la lutte contre le paludisme par l'amélioration du dépistage et du traitement des cas (Ouledi, 1995). Ces actions de lutte ont aussi été renforcées par la mise à disposition des financements importants pour la lutte contre le paludisme par le Fonds mondial au Programme National de Lutte contre le Paludisme dès les années 2000. Après ces années de lutte (2004-2015), l'incidence a chuté à moins de un cas pour 1000 habitants à Mohéli et Anjouan et trois cas pour 1000 habitants à la Grande Comore en 2015 (Toyb *et al.*, 2016). Ces résultats attestent l'entrée dans la phase d'élimination du paludisme en Union des Comores.

Ce chapitre introduit, dans la première partie, le contexte géographique, climatique et démographique des îles de l'Union des Comores. Dans la deuxième partie, nous avons montré comment s'organisent le système de santé et l'offre de soins en Union des Comores, mais aussi l'état de santé de la population comorienne. En dernière partie, nous avons introduit le paludisme dans le contexte mondial, africain et comorien, mais également le contexte de la lutte du paludisme aux Comores.

1.1 De l'Archipel des Comores à l'Union des Comores

L'Archipel des Comores est composé de quatre îles situées à l'entrée Nord du Canal du Mozambique entre Madagascar et la côte est de l'Afrique : Grande Comore (Ngazidja), Mohéli (Mwali), Anjouan (Ndzuani) et Mayotte (Maoré). Elles sont situées entre 11°20' et 13°40 de latitude sud et entre 43°11' et 45°20' de longitude est (Figure 1). La Grande Comore se trouve à environ 300 kilomètres de la côte est africaine et Mayotte à 310 kilomètres de la côte ouest de Madagascar. 40 kilomètres séparent Grande Comore de Mohéli. Il y a une distance équivalente entre Mohéli et Anjouan et légérement plus grande (60 km) entre Anjouan et Mayotte. Ces îles ont une superficie totale de 2112 km^2 : 1024 km2 pour la Grande Comore, 424 km^2 pour Anjouan, 290km^2 pour Mohéli et 374 km^2 pour Mayotte. De 1886 à 1975, cet archipel a été sous colonisation française. Le 6 juillet 1975 naît l'État de la République Fédérale Islamique des Comores qui administrait uniquement les trois îles (Grande Comore, Mohéli et Anjouan). En effet, suite à un référendum en 1974, Mayotte est restée sous administration française en tant que Collectivité Territoriale de la République française. L'État comorien n'a jusqu'à aujourd'hui jamais reconnu ce statut. La République Fédérale Islamique des Comores est devenue Union des Comores le 23 décembre 2001 suite à une longue période de crise entre l'île d'Anjouan (Ndzuani) et les deux îles restantes. Les travaux de cette thèse s'intéressent aux trois îles sous administration de l'Union des Comores (Grande Comore, Mohéli et Anjouan).

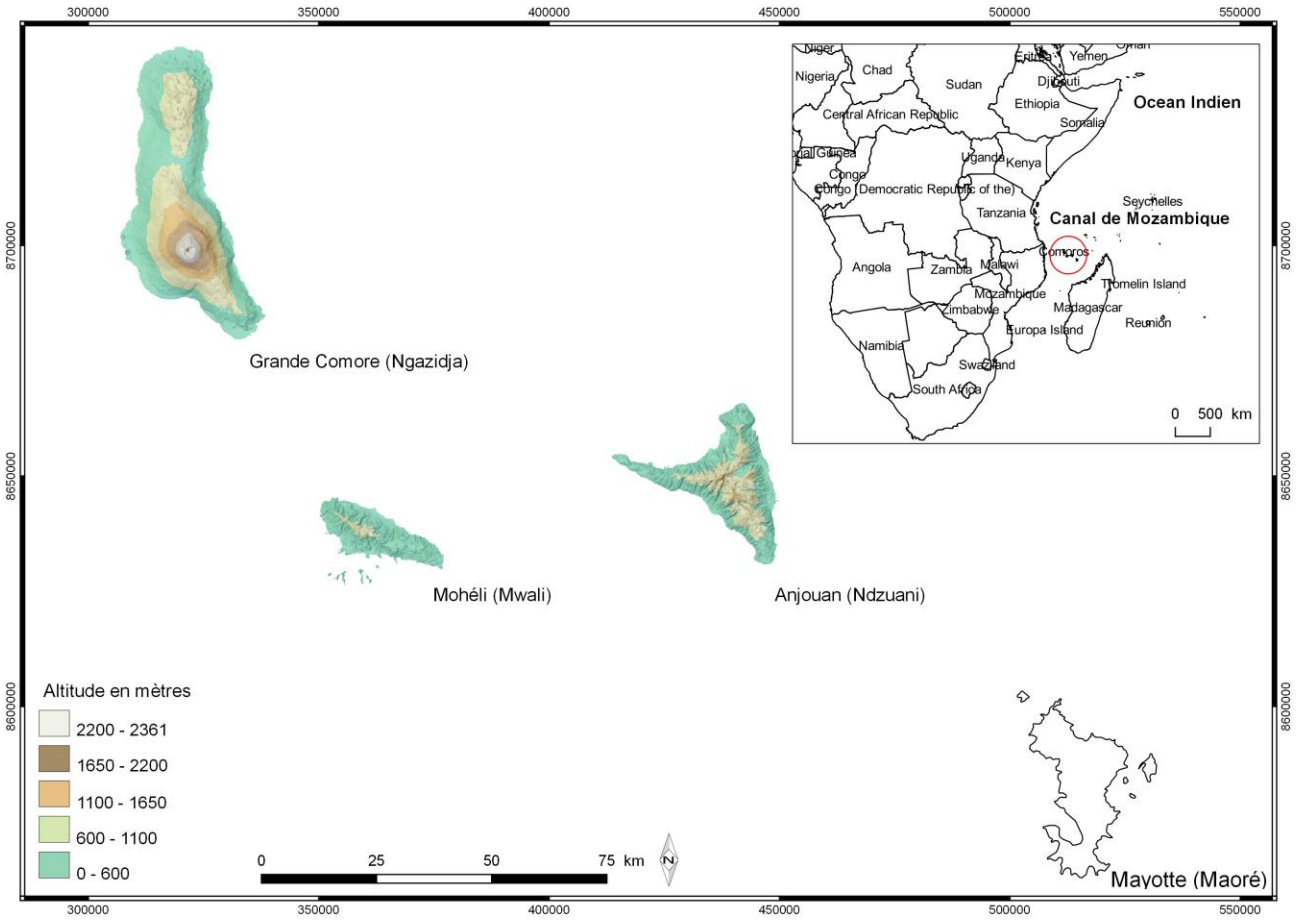


Figure 1 : Archipel des Comores versus Union des Comores (Relief et données altimétriques établies à partir du MNT 90 m Shuttle Radar Topgraphy Mission : http://dwtkns.com/srtm)

1.1.1 Trois îles volcaniques à contraintes orographiques différentes

L'Archipel des Comores se présente sous la forme d'un chapelet d'îles volcaniques plus ou moins alignées selon un axe nord-ouest vers sud-est. Sa formation aurait débuté au cours du Miocène (23 à 5 millions d'années). Elle serait liée à la présence d'un point chaud au-dessus duquel se déplace d'ouest en est la plaque Africaine. L'île de Mayotte, la plus orientale de l'archipel, est donc la plus ancienne et la Grande Comore, la plus occidentale, est la plus récente : c'est d'ailleurs la plus haute et la seule à avoir un volcan en activité, le Karthala. Les datations proposées par la littérature sont :

- Mayotte entre 1,5 et 1,4 Ma (Emerick et Duncan, 1982 ; Nougier *et al*., 1986)
- Anjouan entre 1,5 et 0,4 Ma (Esson *et al*., 1970 ; Flower et Strong, 1969)
- Mohéli entre 2,8 et 0,62 Ma (Esson *et al*., 1970 ; Flower et Strong, 1969)

- La Grande Comore entre 0,13 Ma et aujourd'hui car elle est toujours en formation (Spāth *et al*., 1996).

La Grande Comore

La Grande Comore se serait formée en deux phases selon J De Saint Ours (De Saint Ours, 1960) :

- « Phase volcanique intermédiaire » (Pliocène vers Quaternaire) ; origine de la formation de la péninsule sud de Mbadjini

- « Phase volcanique supérieure » (Quaternaire moyen Supérieure) : origine de la formation du massif du karthala et de la Grille.

La plus jeune île de l'Archipel des Comores est aussi la plus grande avec 65 km de long et 25 km dans sa plus grande largeur. Le point culminant se situe dans le massif du Karthala à 2361 m d'altitude. Situé dans la partie sud de l'île, le massif du Karthala est le seul volcan actif de l'Archipel. Il est formé d'une caldeira sommitale de 4 km de long (Photographie 1). Ses laves peu évoluées ont également formé les différentes pentes du Kartahala. Au nord de l'ile, on retrouve le massif de La Grille formé de plusieurs cônes volcaniques dont le plus élevé culmine à 1087 m d'altitude (Figure 2). Les sols sur les massifs de La Grille sont formés de laves basaltiques et de scories, de la pouzzolane et recouvertes d'argile rouge. La coalescence du massif du Karthala et de la Grille, est à l'origine de la formation du Plateau de Dibwani. C'est une terre couverte d'une savane herbeuse recherchée par les agriculteurs et les éleveurs de bovins. Au sud, la péninsule de Mbadjini forme de nombreux cônes moins élevés. La zone côtière est recouverte de roche basaltique très poreuse. La porosité élevée de la roche volcanique ne permet pas l'écoulement superficiel et le

Photographie 1 : Caldeira du volcan Karthala

ruissellement des eaux de façons permanente. Il n'y a quasiment pas de cours d'eau permanents sur l'île. Cette absence a pour conséquence des problèmes d'accessibilité à l'eau.

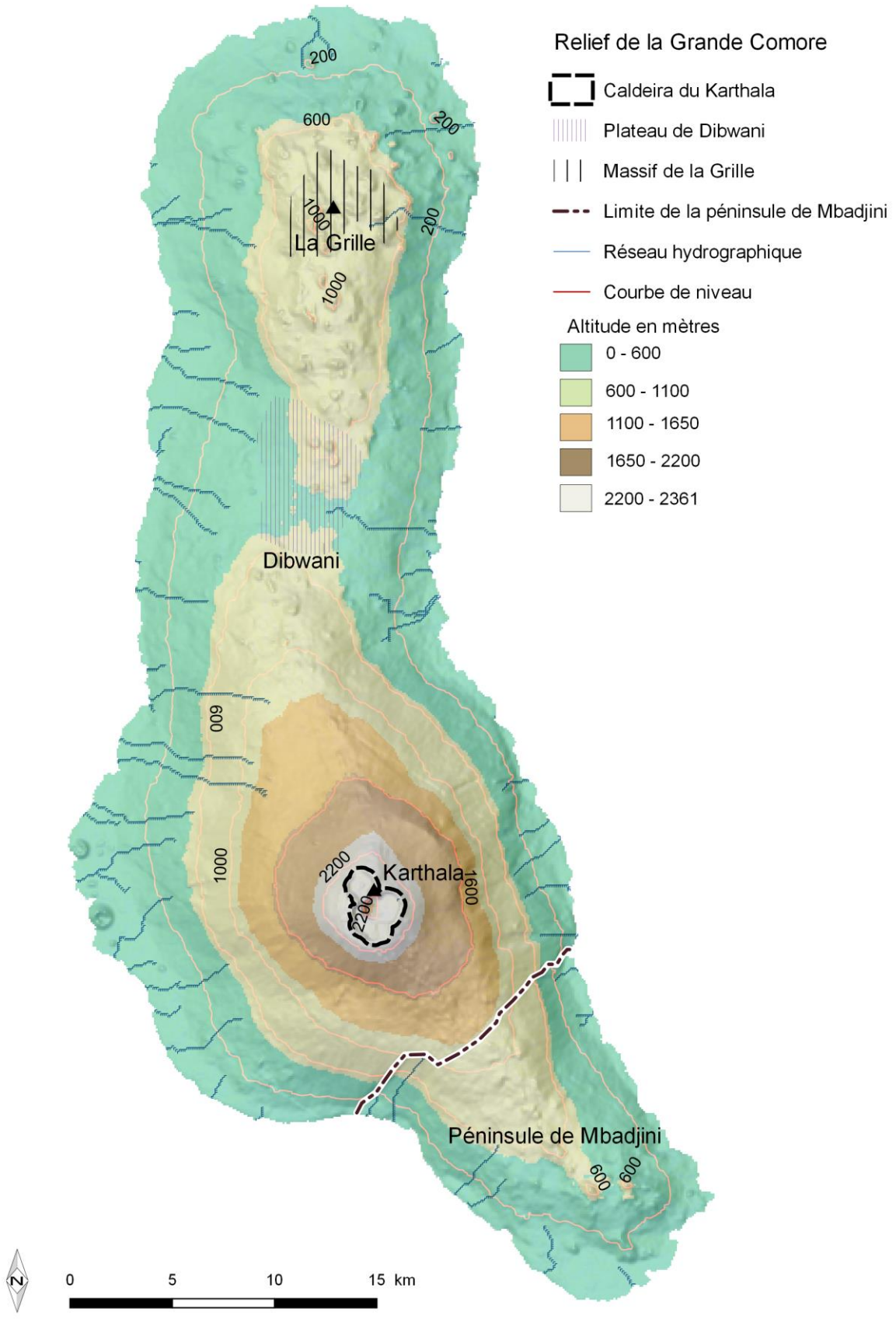


Figure 2 : Relief de la Grande Comore (Relief et données altimétriques établies à partir du MNT 90 m Shuttle Radar Topgraphy Mission : http://dwtkns.com/srtm)

Mohéli

La formation de Mohéli se serait faite en trois phases (De Saint Ours, 1960) :

- « Phase volcanique inférieure » (entre la fin du Miocène et le début du Pliocène) ; origine de la formation de la crête dorsale,
- « Phase intermédiaire » ; origine de la formation du plateau de Djando,
- « Phase supérieure » ; origine de la formation des cratères de Dziani Bundruni, l'Uhoni et du Wanazibundruni.

Photographie 2 : Les îlots situés dans le parc marin de Mohéli

Mohéli est la plus petite des îles de l'Archipel des Comores avec 30 km de longueur et 12 km de largeur. L'île est aussi la moins élevée avec un point culminant à 790 m le Mze Kukulé situé sur l'arête axiale et dorsale au centre de l'île qui s'étend jusqu'à 200 kilomètres de l'ouest au sud-ouest (Figure 3). Le relief de l'île prend la forme de cette arête d'où partent les différentes pentes abruptes des versants est et ouest. Plusieurs cours d'eau permanents s'allongent le long de l'axe dorsal vers les zones côtières. A l'est, le plateau de Djando se situe entre 250 à 300 mètres. Ce plateau est formé des laves basaltiques superposées de tufs, de pouzzolanes et d'argiles rouges. Ces terres sont quasiment imperméables. Plusieurs îlots se trouvent au sud de l'île à 5 km de la côte (Photographie 2). La zone côtière est très plane et peu élevée par rapport au niveau de la mer.

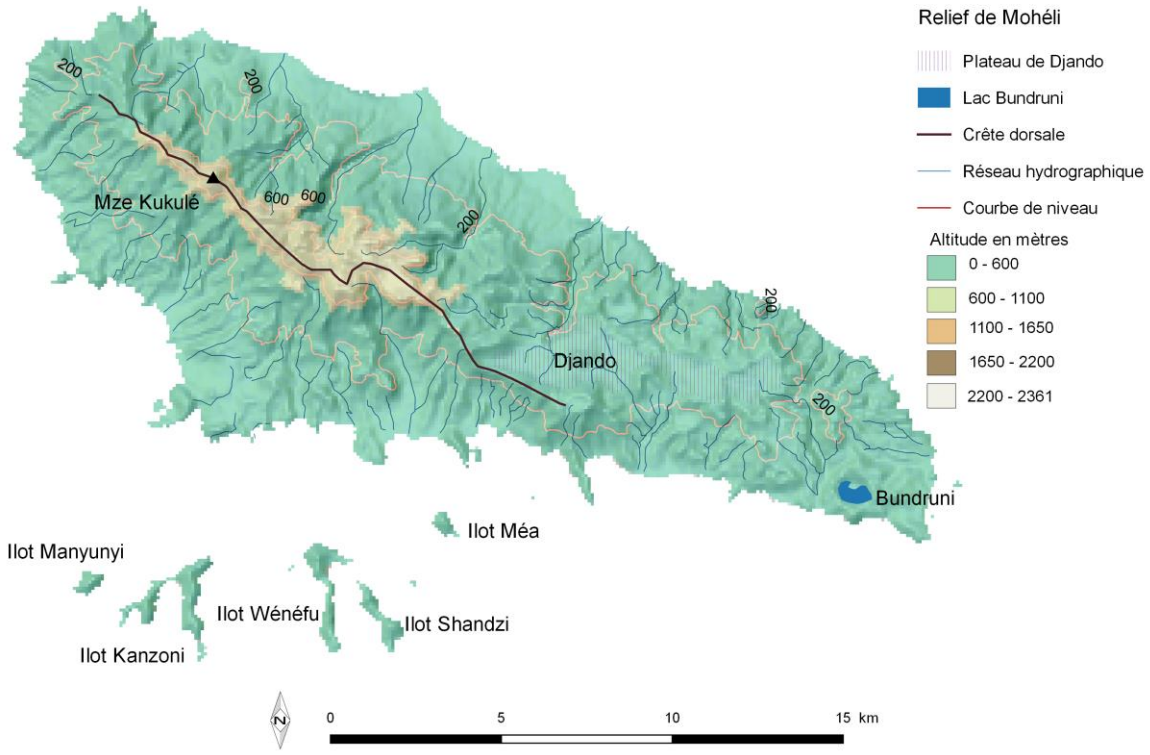


Figure 3 : Relief de Mohéli (Relief et données altimétriques établies à partir du MNT 90 m Shuttle Radar Topgraphy Mission : http://dwtkns.com/srtm)

Anjouan

L'île d'Anjouan se serait formée durant trois phases volcaniques (De Saint Ours, 1960):

- « Phase volcanique inférieure » ; origine de la formation de la partie centrale de l'île,
- « Phase volcanique intermédiaire » ; origine de la formation des trois extrémités de l'île (Sima, Jimlimé et Nyumakele),
- « Phase volcanique supérieure » ; origine de la formation des cirques de Bambao et de Pasty.

Photographie 3 : Vue de la cuvette de Bambao Mtruni

Anjouan est la deuxième île de par sa superficie. Elle a la forme d'un triangle (Figure 4) dont les côtés mesurent 40 km (de la pointe de Sima à la pointe de Nyumakele), 30 km (de la pointe de Sima à la pointe de Jimlimé) et 35 km (de la pointe de Jimlimé à la pointe de Nyumakele). Sur la partie centrale de l'île s'élève le Mont Ntringui (1595 m) et le Mont Trindrini (1474 m). Le relief de l'île est très accidenté avec des crêtes escarpées qui forment des cirques comme le cirque de Bambao (Photographie 3). Plusieurs falaises bordent la zone côtière ouest-nord et sud-ouest. La côte est est moins élevée et se caractérise par de petites plaines littorales.

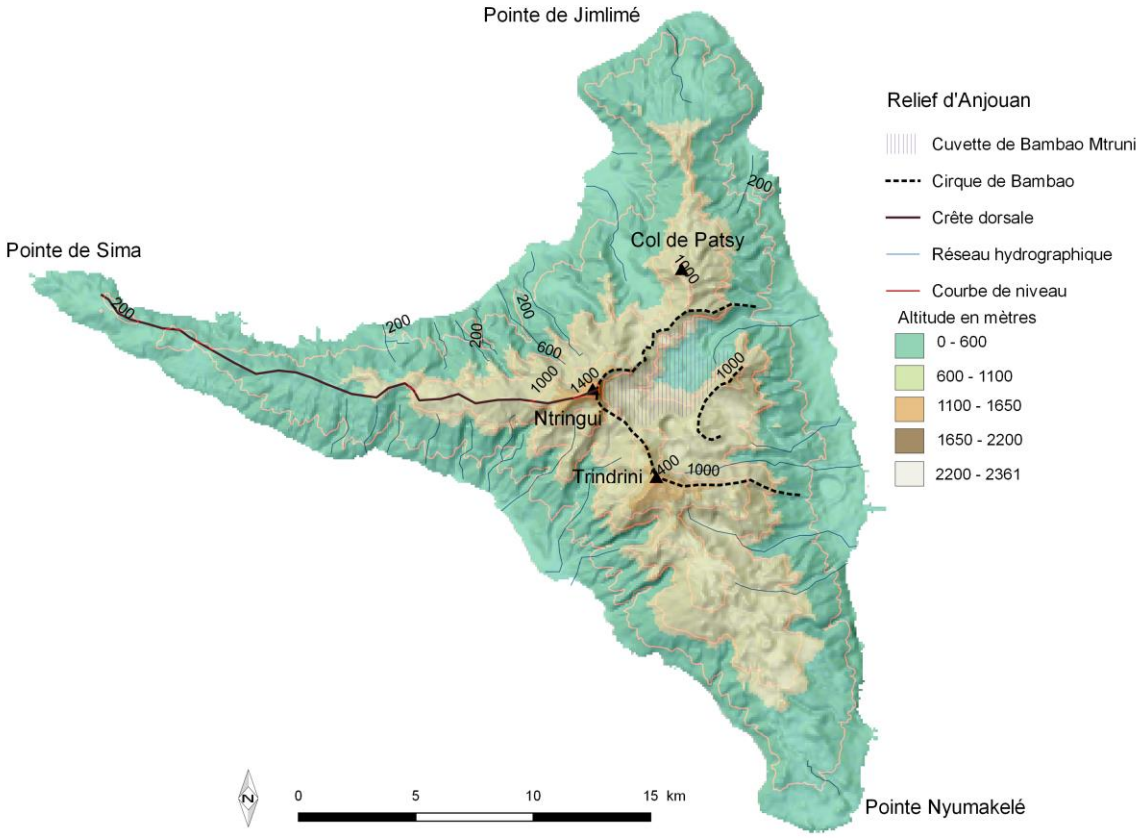


Figure 4 : Relief d'Anjouan (Relief et données altimétriques établies à partir du MNT 90 m Shuttle Radar Topgraphy Mission : http://dwtkns.com/srtm)

1.1.2 Un climat tropical humide favorable à la transmission des maladies vectorielles

De par sa position géographique, l'Archipel des Comores est sous influence d'un climat tropical à deux saisons :

- Une saison chaude et pluvieuse, dit l'été austral : elle s'étend de novembre à avril. C'est une période durant laquelle souffle le vent de mousson du nord-est, mais peut souffler du nord-ouest par période de dépression tropicale entre janvier et février ;

- Une saison fraîche et sèche, dit l'hiver austral : elle s'étend de mai à octobre. C'est une période durant laquelle souffle le vent d'alizé du sud-est.

<u>Des précipitations à forte variabilité spatio-temporelle à l'échelle des îles</u>

Les données météorologiques précises et complètes manquent en Union des Comores. Cela entraîne des incertitudes sur la variabilité spatiale et temporelle. Les données de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACM) concernent essentiellement les stations météorologiques des aéroports (Hahaya, Moroni Itsambouni, Ouani et Bandar-es-Salam) et quelques stations pluviométriques relevées temporairement sur chaque île.

Les précipitations sont très variables d'une île à l'autre, d'une saison à l'autre et d'un versant à l'autre.

- ✓ **En Grande Comore** :

Il faut tout d'abord noter l'absence de données sur les parties élevées de l'île. La moyenne annuelle des précipitations était de 2784 mm entre 2010 et 2016 en se référant à la station de Moroni. Les années 2011, 2012, 2013 et 2016 ont été très pluvieuses avec des moyennes de précipitations supérieures à la normale. La moyenne des précipitations mensuelles est de 235 mm. En saison pluvieuse, il pleut en moyenne 342 mm par mois et 130 mm par mois en saison sèche. Il y

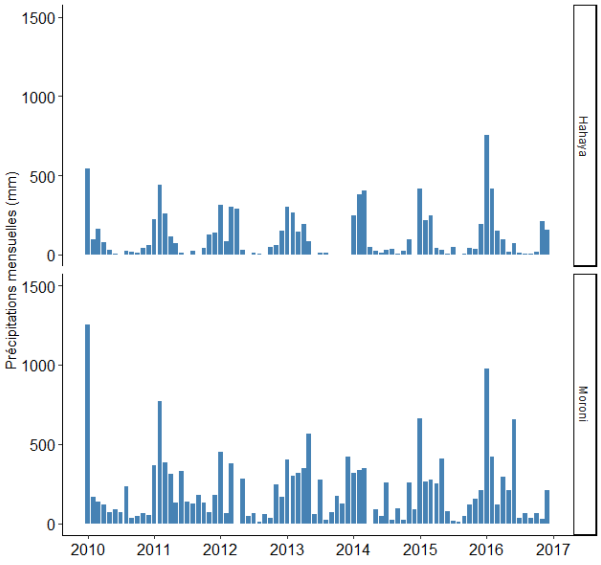


Figure 5 : Précipitations mensuelles des stations météorologiques de Moroni et Hahaya (source des données : ANACM)

a eu plus de 1000 mm de pluie en janvier 2010, et janvier 2016 et plus de 1500 mm en avril 2012 (Figure 5). Ces fortes précipitations ont été à l'origine d'importantes inondations surtout en 2012 où les rivières du versant du Karthala ont débordé et inondé les villages de la préfecture de Bambao (Vouvouni et Serehini).

Le versant Ouest du Karthala est le plus arrosé avec une moyenne annuelle des précipitations qui varie entre 3000 mm et 4200 mm de 2010 à 2012. Elle est de 2200 mm au nord de l'île sur le massif de La Grille. Les versants est et sud sont les moins arrosés avec une moyenne annuelle des précipitations très inférieure à la moyenne de la Grande Comore entre 1100 mm et 1800 mm (Figure 6). Ces variations spatiales ont probablement une influence importante sur l'épidémiologie du paludisme à la Grande Comore que nous examinerons.

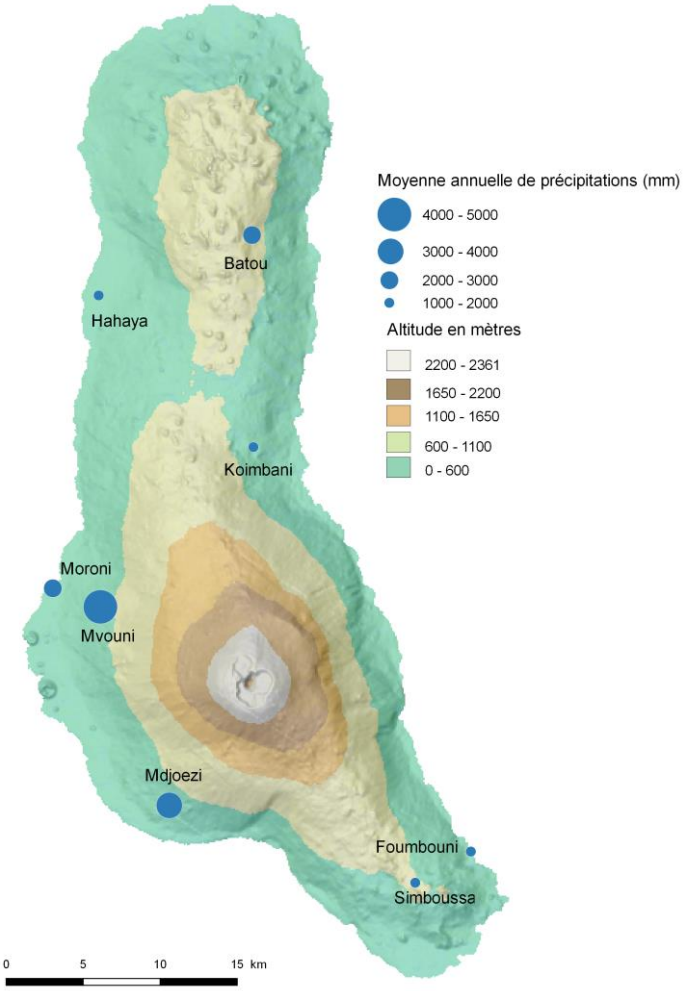


Figure 6 : Moyenne annuelle de précipiations de 2010-2012 des stations de la Grande Comore (source des données : ANACM)

✓ **Mohéli :**

Les précipitations moyennes annuelles seraient de 1396 mm sur la période 2011 à 2014 si on se réfère à la station de Bandar-es-salam. En saison pluvieuse, il pleut en moyenne 194 mm par mois entre 2011-2014 et moins de 50 mm par mois en saison sèche (Figure 7). Cette station se trouve à l'est de l'île moins arrosé. L'ouest de l'île est plus arrosé avec plus de 1600 mm de précipitations moyennes annuelles. Le sud de l'île est moins arrosé avec des précipitations très inférieures à la moyenne (moins de 800 mm par an). La moyenne des précipitations annuelles varie entre 1000 mm et 1200 mm au nord et sur le plateau de Djando (Figure 8). Ces variations spatiales et temporelles des précipitations sur le petit territoire de l'île de Mohéli pourraient aussi avoir une influence sur la variation spatio-temporelle du paludisme.

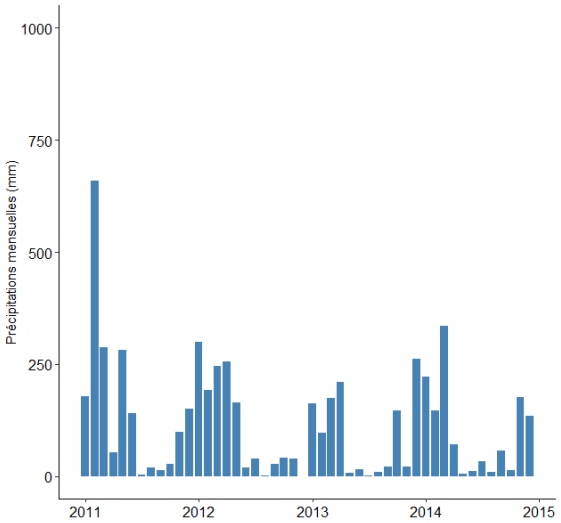


Figure 7 : Précipitations mensuelles de 2011-2014 de la station de Bandar-es-Salam de Mohéli (sources des données : ANACM)

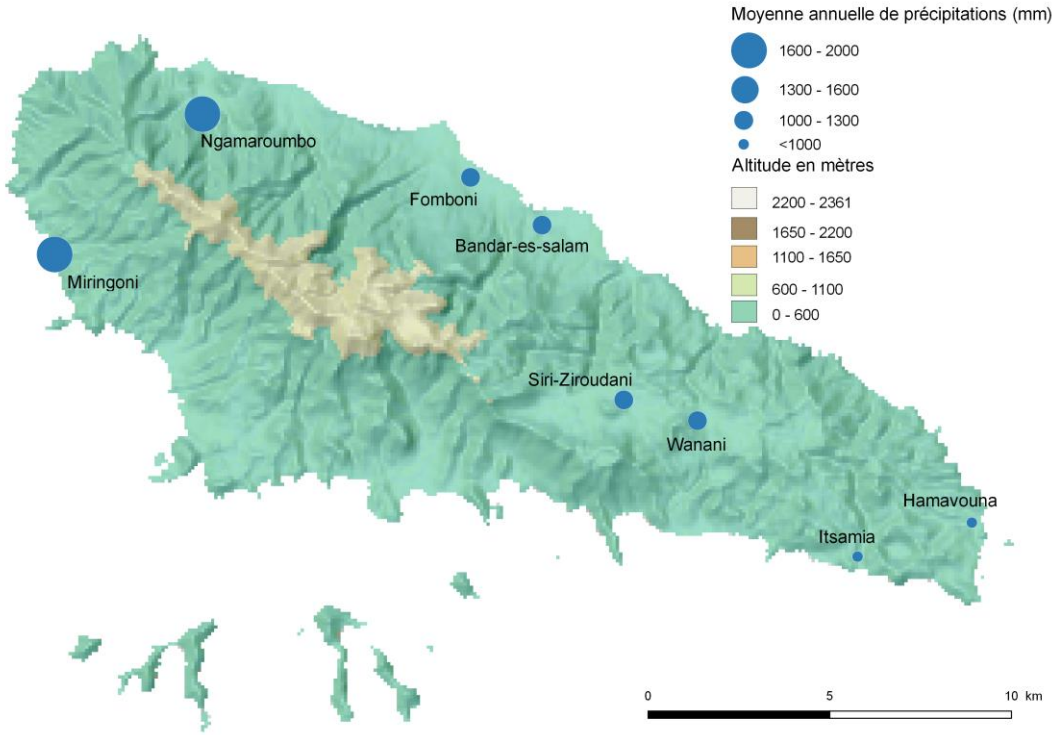


Figure 8 : Moyenne annuelle de précipiations de 2010-2012 des stations de Mohéli (sources des données : ANACM)

Anjouan :

On notera sur la figure 10 que seule la face est de l'île dispose de stations pluviométriques. La moyenne annuelle des précipitations calculée à partir de ces données partielles est de 1768 mm sur la période 2011 à 2016 en se référant à la station d'Ouani. Les années 2013, 2014 et 2015 ont été moins pluvieuses avec des précipitations inférieures à la moyenne. La moyenne mensuelle est de 259 mm en saison pluvieuse, et de 45 mm en saison sèche (Figure 9). Les pics de précipitations s'élèvent à plus de 500 mm entre janvier et février en 2013, 2014 et 2016.

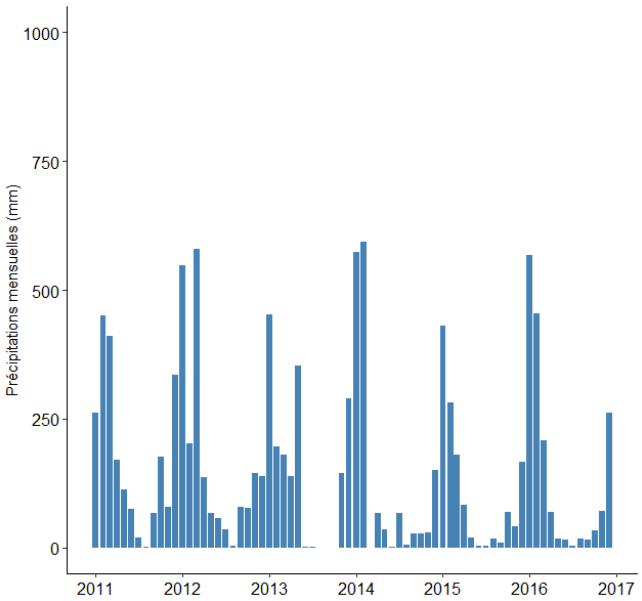


Figure 9 : Précipitations mensuelles de la station d'Ouani à Anjouan (source des données : ANACM)

Il a beaucoup plu dans l'ouest, le cirque de Bambao Mtruni, et l'est avec des précipitations annuelles deux fois supérieures à la moyenne annuelle entre 2010 et 2012. Au nord, le niveau des précipitations annuelles correspond à la moyenne annuelle d'Anjouan. Au sud, la précipitation moyenne annuelle est 2200 mm sur la même période (Figure 10).

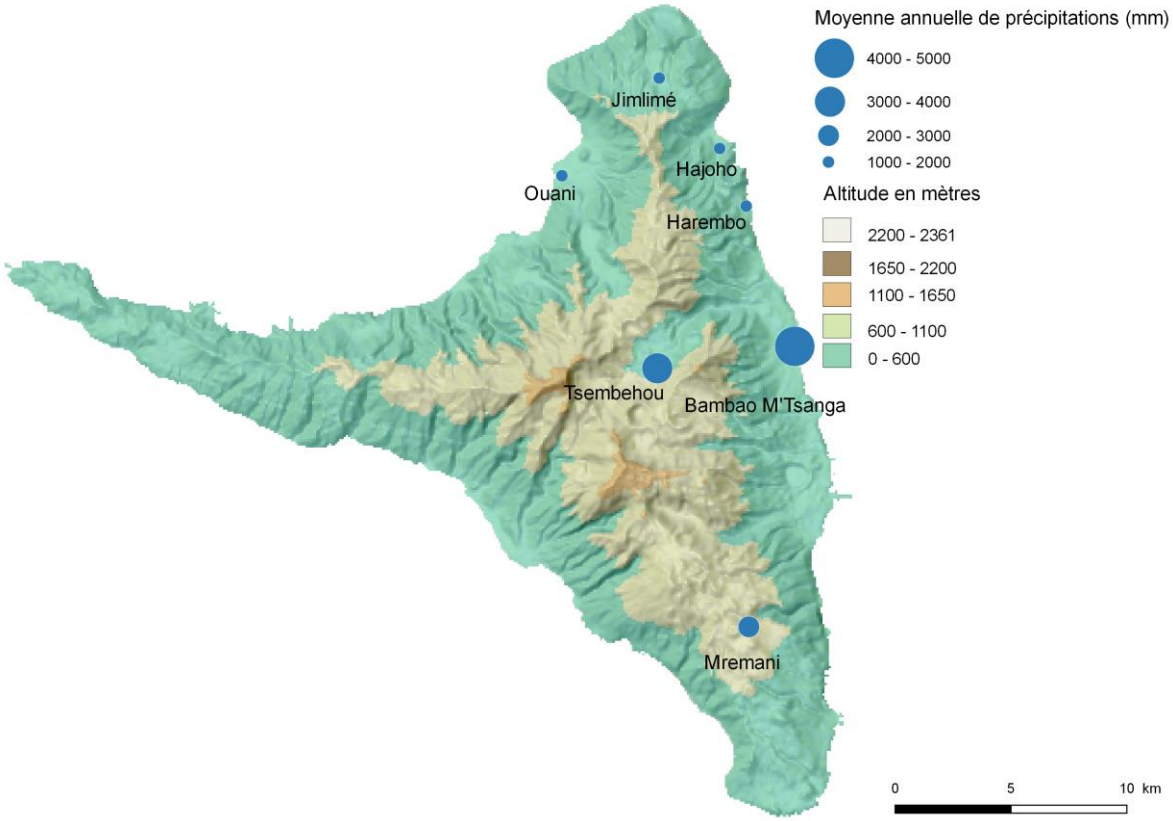


Figure 10 : Moyenne annuelle de précipiations de 2010-2012 des stations d'Anjouan (source des données ANACM)

La température :

Entre 2010 et 2016, la température moyenne mensuelle est de 27°C [IC, ±1,5]. Durant l' « été austral », la moyenne mensuelle des températures est de 28°C [IC, ± 0,5] avec un minimum de 26°C et un maximum de 33°C. Durant « l'hiver austral », la température moyenne mensuelle est de 26°C [IC, ± 1,2] avec un minimum de 24°C et un maximum à 30°C. De 2010 à 2016, on observe un cycle normal de températures mensuelles avec des pics de températures en août 2013 à Moroni et en février 2014 à Ouani (Figure 11). Les températures les plus fraîches sont observées sur les hautes altitudes du Karthala, sur le massif de La Grille, le plateau de Djando et le cirque de Bambao Mtsanga.

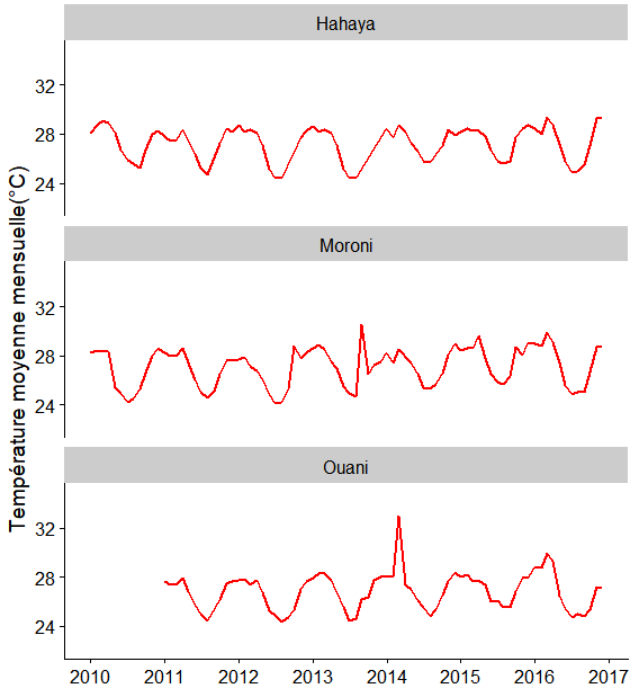


Figure 11 : Température mensuelle des stations de Moroni, Hahaya et Ouani (sources des données : ANACM)

1.1.3 Une colonisation précoce et une population toujours en forte croissance

Un peuple afro-arabe et musulman

La période d'installation des premiers Comoriens est mal connue et reste encore controversée dans les différents ouvrages d'histoire (Ibouroi, 2014). D'après les récits traditionnels, les premiers habitants des Comores seraient des populations arabes de la lignée du Prophète d'Abraham (Allibert, 2015). Ils se seraient installés à Ngazidja pendant le règne du roi Salomon en 950 av. J. C. (Prophète Souleymane). D'autres récits évoquent l'installation de populations arabes ou juives à la Grande Comore pendant le règne du roi Salomon entre 973 – 933 av. J. C. Des travaux récents font remonter l'arrivée des premiers habitants vers l'an 2000 av. J. C. (Allibert, 2015).

Les navigateurs arabes (sémites) et les commerçants, qui s'étaient installés sur la côte orientale de l'Afrique, ramenaient durant leurs expéditions avec eux des personnes africaines. Des populations africaines (des Zendjes et Chambaras) et arabes (musulmans) auraient donc habité les îles Comores à la même période. Selon de Maximy (1968), d'autres communautés auraient habité sur l'île à des périodes postérieures :

- entre 1500 et 1505, des Portugais de passage sur la Grande Comore ;
- en 1506, des chaziens arrivés à la Grande Comores, à Mohéli et à Anjouan ;
- durant le XVIè siècle, des Malgaches Sakalaves installés à Mayotte ;
- en 1700, des forbans à Anjouan ;
- au XXième siècle, des français installés sur l'ensemble des îles de l'Archipel des Comores ;
- durant le XXième siècle, des commerçants indiens installés sur l'ensemble des îles.

Une croissance rapide de la population

Les premiers recensements officiels de la population comorienne ont été effectués en 1958 et 1966 par l'Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques (INSEE) sous l'administration de l'autorité coloniale de la France d'Outre-Mer basée à Madagascar. En 1980, cinq ans après l'indépendance des Comores, le Centre français sur la Population et le Développement (aujourd'hui UMR CEPED) a réalisé un recensement de la population à la demande du gouvernement de la République fédérale Islamique des Comores (RFIC). Deux autres recensements ont été effectués en 1990 et 2003 par la Direction Nationale du Recensement de l'Union des Comores (DNR). La projection de la population comorienne faite par l'ancienne direction des Plans et des Statistiques permet depuis 2003 d'estimer la population. Cette projection a été réalisée jusqu'en 2025. Toutefois, un dernier recensement vient d'être effectué entre fin 2017 et début 2018, pour lequel les résultats ne sont pas encore disponibles.

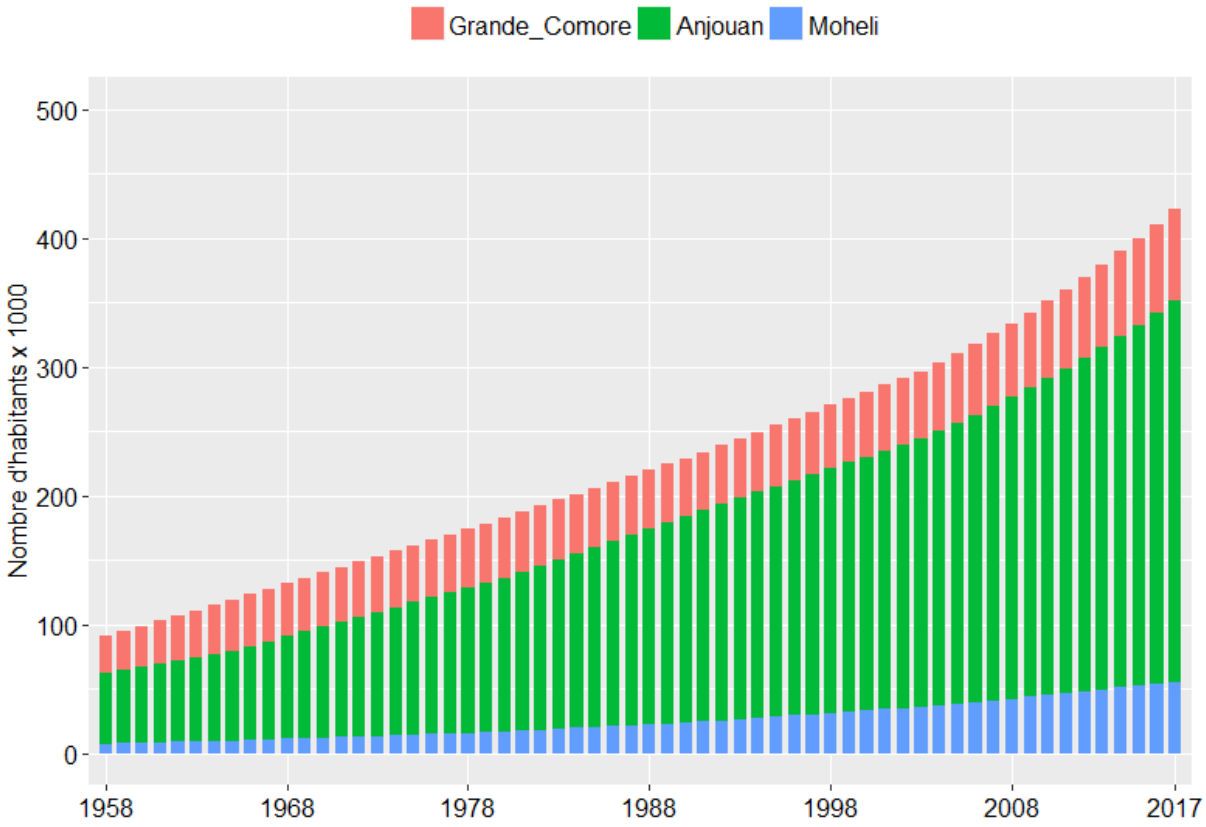


Figure 12 : Evolution de la population des îles de l'Union des Comores : 1958-2017. (Source des données : recensements de la population de 1958, 1966, 1990 et 2003 et estimation pour les années intermédiaires)

La population est de 159 769 habitants en 1958 sur l'ensemble des trois îles ; Grande Comore (90 790 habitants), Anjouan (61 815 habitants) et Mohéli (7 164 habitants) (Figure 12). L'île de la Grande Comore reste la plus peuplée (57% de la population totale) tandis que Mohéli est la moins peuplée (moins de 5% de la population totale). Une augmentation de 13% de la population a été constatée de 1958 à 1966 soit un taux brut d'accroissement naturel de 2,6% (Tableau 1). Le recensement de 1980 montre une forte progression de la population par rapport à 1958 : de 40% à Mohéli, 37% à Anjouan et 34% à la Grande Comore. Cette forte augmentation s'explique par un taux brut de natalité de 46‰ et par un taux brut d'accroissement naturel de 3% entre 1966 et 1980. Depuis 1980, la population comorienne n'a cessé d'augmenter de façon disproportionnée entre les îles. Mohéli et Anjouan ont connu un croisement naturel très élevé respectivement de 3,6% et 3% entre 1980 et 1991 et de 3,3% et 2,1% entre 1991 et 2003 (Tableau 1). En 45 ans (1958-2003), la population a été multipliée par 5 à Mohéli, par 4 à Anjouan et par 3 à la Grande Comore. La croissance de la population de la Grande Comore est en baisse depuis 1980. Les projections faites à partir du recensement de 2003 estiment que la population comorienne sera de 828 147 habitants en 2017, dont 421

885 à la Grande Comore, 350 859 à Anjouan et 55 404 à Mohéli. C'est un accroissement brut naturel de 2,7% et un taux brut de natalité de 33,5‰ sur l'ensemble des trois îles.

Tableau 1 : Taux de natalité et d'accroissement naturel de 1958 à 2003. (Source des données : recensements ; 1958, 1966,1990 et 2003)

Iles	**Taux brut de natalité ‰**				
	1958	**1958-1966**	**1966-1980**	**1980-1991**	**1991-2003**
Comores	45,7	44,6	46	46	35,6
Grande Comore	-	-	-	41	32,1
Mohéli	-	-	-	45	39,9
Anjouan	-	-	-	52	40,0
	Taux brut d'accroissement naturel %				
Comores	2,2	2,6	3	2,7	2,1
Grande Comore	-	-	-	2,3	2,0
Mohéli	-	-	-	3,6	3,3
Anjouan	-	-	-	3	2,1

Une population très jeune

En 1958, plus de la moitié de la population comorienne est âgée de moins de 20 ans (52% des habitants) (Figure 13). L'île d'Anjouan est plus jeune : les moins de 20 ans y représentent 57% de la population contre 50% en Grande Comore et 42% à Mohéli. La pyramide des âges de l'île d'Anjouan a une base élargie en raison de la part importante de la tranche d'âge de 0-4 ans (8%) et 10% pour la tranche d'âge de 5-9 ans. Ces mêmes tranches d'âge pour Mohéli et à la Grande Comore représentent seulement 8%. Le taux de natalité élevé à Anjouan serait lié à des mariages précoces. La mortalité (23‰ sur l'ensemble des îles) est élevée chez les enfants de la tranche d'âge de 0-4 ans. On observe un sex-ratio très déséquilibré entre la tranche de 20 à 50 ans sur Anjouan (0,42<H/F<0,93) et la Grande Comore (0,60<H/F<0,84) contrairement à Mohéli (0,92<H/F<1,1). Signalons cependant ici que De Maximy (1968) a remis en cause les résultats du recensement de 1958. Il a observé une sous-déclaration des enfants de moins d'un an et des filles de 2 à 15 ans. Les hommes de l'île d'Anjouan et de La Grande Comore (classe des plus de 20 ans) sous représentés ont quant à eux été envoyés dans les sociétés coloniales de Mohéli, Mayotte et de Madagascar. 46 601 ouvriers ont été recensés sur l'île de

Madagascar en 1958 provenant de ces deux îles. Ces caractéristiques de la population de l'Archipel des Comores ont rapidement changé, surtout après l'indépendance.

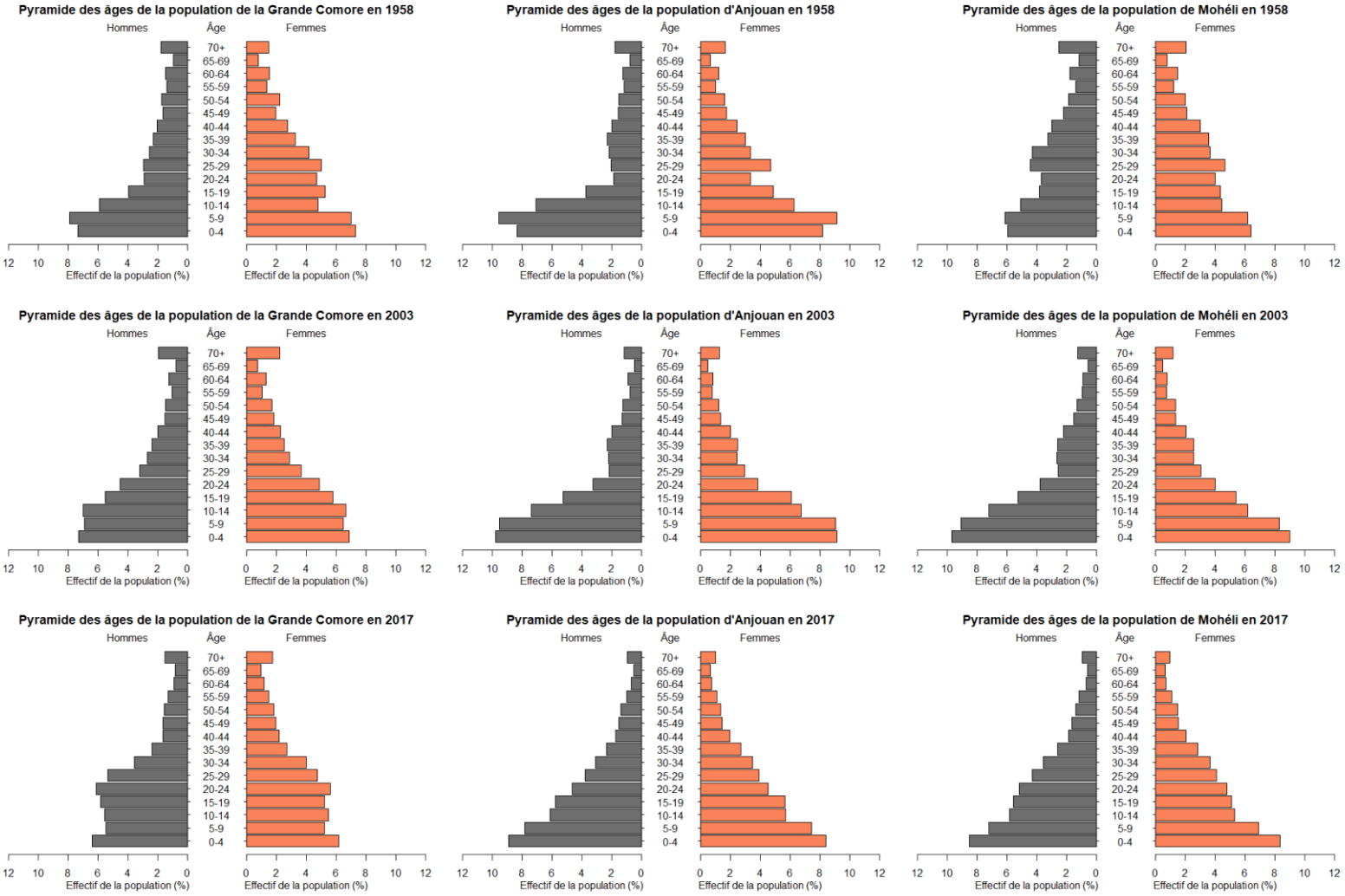


Figure 13 : Pyramides des âges de la population de chaque île en 1958, 2003 et 2017. (Source des données : recensements de la population de 1958 et 2003)

Entre 1958 et 2003, la population comorienne s'est métamorphosée : elle s'est accrue de 67% à Mohéli, 60% à Anjouan et 53% à la Grande Comore (Figure 13). La réduction du taux de mortalité infantile et le taux brut de natalité depuis 1980 entraine une augmentation de la proportion des enfants âgés de 0-4 ans et 5-9 ans à Mohéli et Anjouan (Tableau 2). Ainsi, la population a beaucoup rajeuni avec 63% de moins de 20 ans à Anjouan, 60% à Mohéli et 52% à la Grande Comore. Le sex-ratio s'est équilibré pour la tranche d'âge de 20 à 50 ans sur l'ensemble des îles (0,81<H/F<1) mais surtout à la Grande Comore (0,83<H/F<1) et Mohéli (0,83<H/F<1,3). La proportion de population âgée de plus de 70 ans est plus élevée à la Grande Comore (4%) que sur les autres îles (2,5%). La projection de la population de 2017 à partir du recensement de 2003, montre une diminution de la proportion dans la tranche d'âge de 0-4 ans sur l'ensemble des îles et une augmentation de la proportion des adultes âgés de 20 à 40 ans à la Grande Comore (Figure 13). Cela serait dû au déplacement des adultes vers la capitale Moroni à la recherche de travail. Le rapport hommes-femmes reste bien équilibré sur l'ensemble des îles et les différentes tranches d'âge.

Tableau 2 : Taux de mortalité infantile et de natalité de 1980 à 2003 (Source des données : recensements de la population de 1980,1991 et 2003)

Iles	**Taux de mortalité infantile ‰**		
	1980	**1991**	**2003**
Comores	121,7	86,2	79,3
Grande Comore	-	90	102,9
Mohéli	-	94	63,2
Anjouan	-	82	69,5
	Taux bruit de natalité ‰		
Comores	46	46	35,6
Grande Comore	-	41	32,1
Mohéli	-	45	39,9
Anjouan	-	52	40

Une population inégalement répartie sur le territoire

Peuplée de 269 177 habitants en 2003, la Grande Comore abrite plus de la moitié de la population comorienne avec une densité de 258 habitants/km^2. À la Grande Comore, on observe plus de 5 000 habitants dans les huit quartiers de la capitale (Moroni) et les villages périphériques (Figure 14) ; Iconi, Mkazi et Mvouni. La densité est plus de 2 900 habs/km^2 pour la commune de Moroni (urbaine) et entre 630 à 1970 habs/km^2 pour les communes

périphériques (Figure 17). On dénombre de 2000 à 4000 habitants sur plusieurs des villages situés au sud-ouest, sud-est, nord-est et nord-ouest avec une densité de 630 à 1204 habs/km^2 pour la majorité de leurs communes. Les villages situés à l'Est et à l'Ouest sont les moins peuplés avec moins de 2000 habitants et une densité inférieure à 250 habs/km^2 pour les communes de ces zones géographiques. En 2017, la population a doublé pour les quartiers de Moroni, les villages environnants et des villages du nord et du sud (Figure 4). Ceci entraine une augmentation de la densité de la population qui passe à plus de 4000 habs/km^2 pour la commune de Moroni et plus de 1200 habs/km^2 pour les communes du nord et du sud (Figure 16).

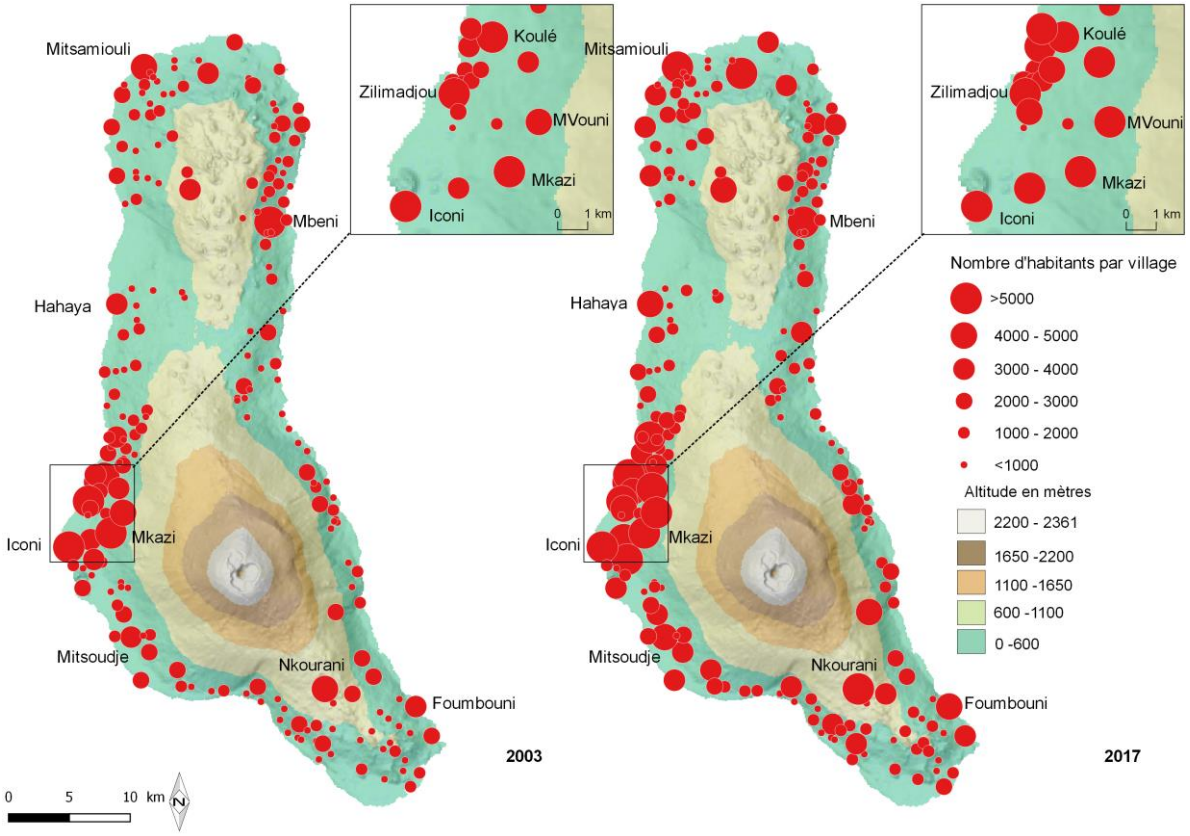


Figure 14 : Répartition de la population de la Grande Comore par village en 2003 et 2017. (Source des données : INSEED)

Mohéli est la moins peuplée de toutes les îles avec 35 751 habitants en 2003 (Figure 15) et une densité de 123 habitants/km^2 (Figure 17). Fomboni est la seule ville qui compte plus de 5000 habitants et plus de 3000 habitants pour les villages de Nioumachioi, Djoiezi et Ndrondroni. La commune de Fomboni a une densité de plus de 247 habs/km^2 et il y a moins de 247 habs/km^2 pour toutes les autres communes. En 2017, la population des villages de Nioumachioi, Ndrondroni et Djoezi augmente, passant à plus de 4000 habitants. La densité de la population de la commune de Fomboni passe à plus de 630 habs/km^2 et plus de 247 habs/km^2 pour les deux communes de Moimbao et Nioumachioi (Figure 17).

En 2003, Anjouan compte 243 732 habitants soit 2/5 de la population comorienne. C'est l'île la plus densément peuplée avec 575 habs/km^2. Plusieurs villes ont plus de 5000 habitants en 2003 (Figure 15), dont Mutsamudu, Mirontsy, Ouani, Tsembehou, Sima, Domoni. La commune de Mirontsy est plus densément peuplée (plus 1970 habs/km^2) en 2003 que la capitale, Mutsamudu. La majorité des villages sont peuplés de plus de 2 000 habitants (Figure 16). Ainsi, les densités de population sont élevées dans les communes variant de 247 et 1970 habs/km^2. La commune de Vouani à l'est est une exception (Figure 17). Dans cette dernière commune, les villages comptent moins de 2 000 habitants. Les projections de 2017 montrent une augmentation des populations des « grande ville » mais également des populations des villages situés au sud et à la pointe de Sima. La densité de la population est en forte croissance pour l'ensemble des communes mais elle l'est surtout pour les communes Mutsamudu, Bazimini, Bambao Mtrouni et Mramani.

La prise en charge des soins de la population comorienne, croissante, jeune et densément peuplée sur certaines communes, est un défi majeur pour le gouvernement de l'Union des Comores. Afin d'étudier l'offre et la qualité des soins offerts à cette population, nous allons à présent nous intéresser à l'organisation du système de santé de l'Union des Comores.

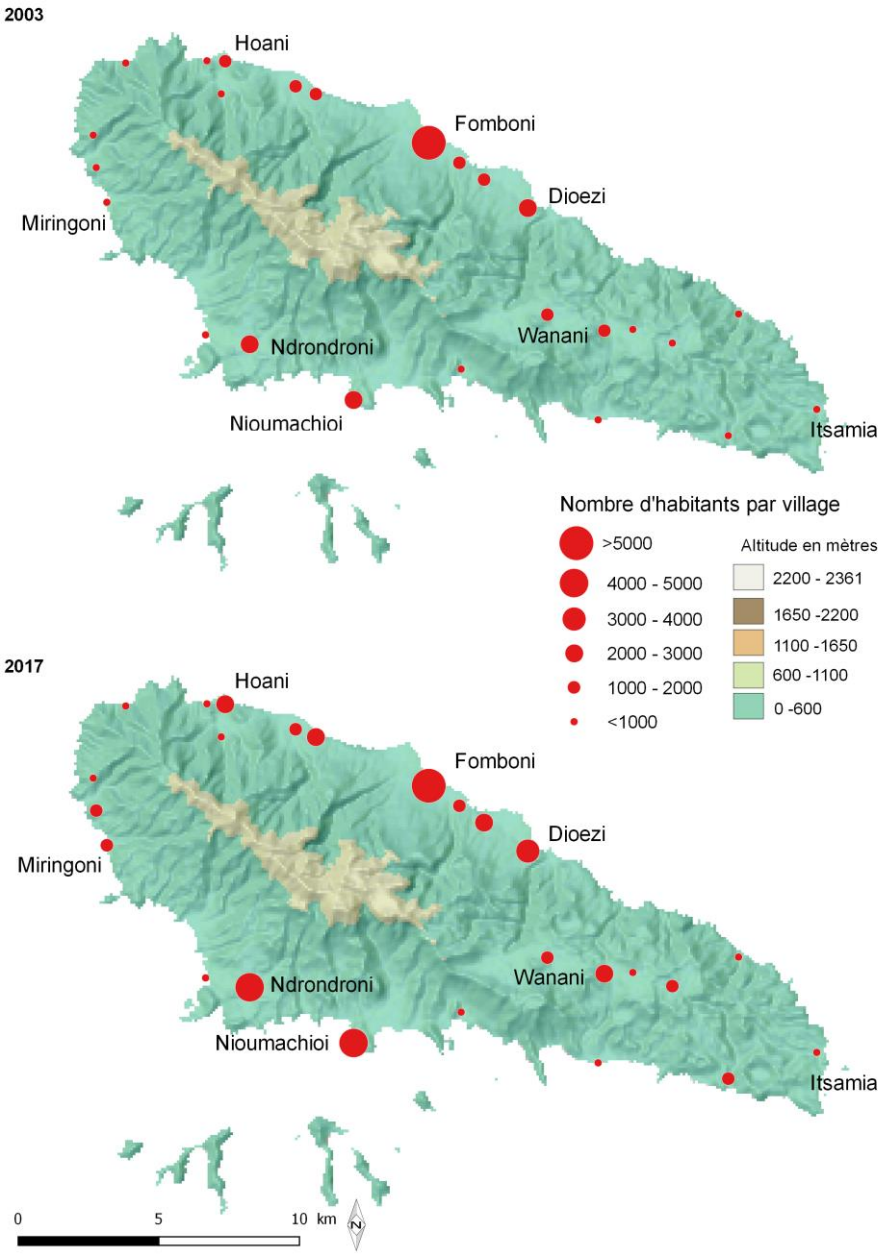


Figure 15 : Répartition de la population de Mohéli par village en 2003 et 2017 (Source des données : INSEED)

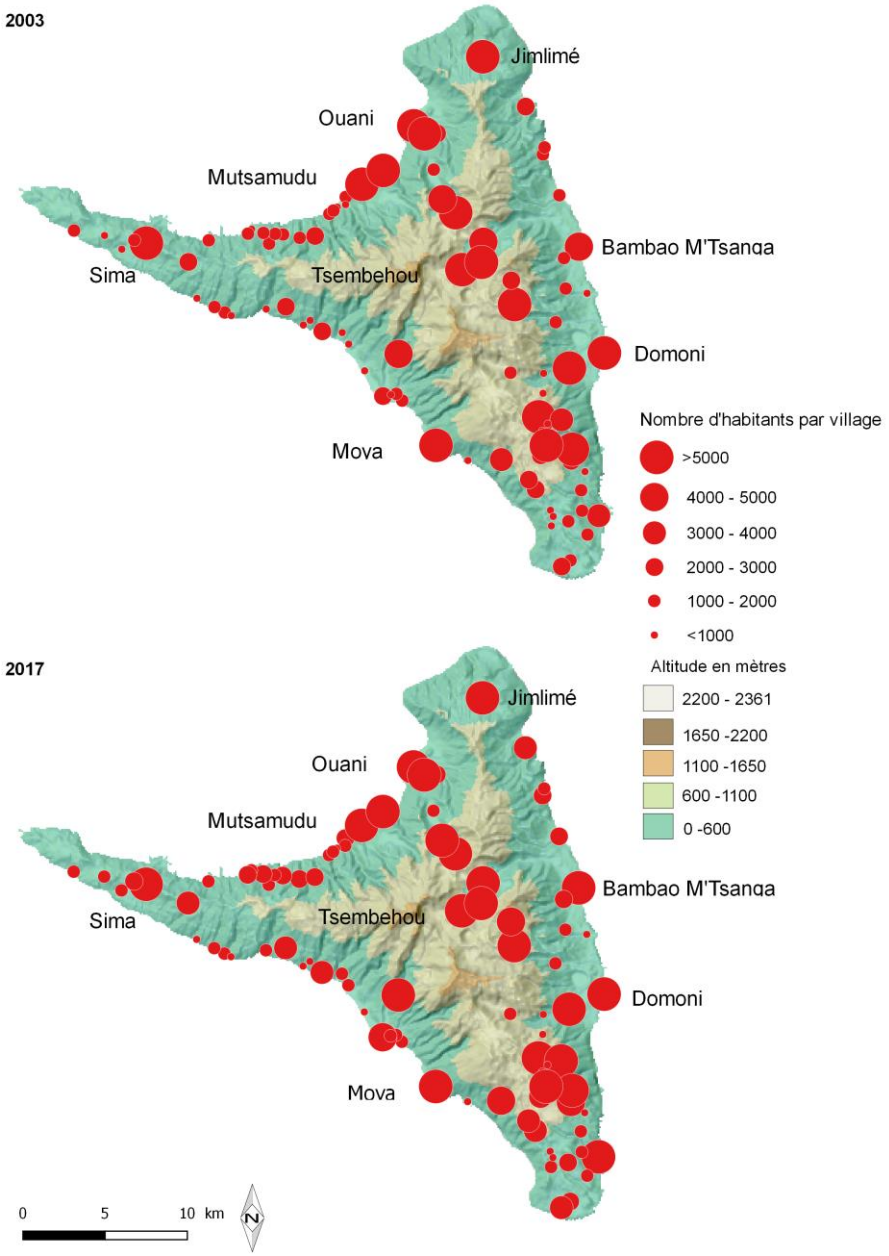


Figure 16 : Répartition de la population d'Anjouan par village en 2003 et 2017

(Source des données : INSEED)

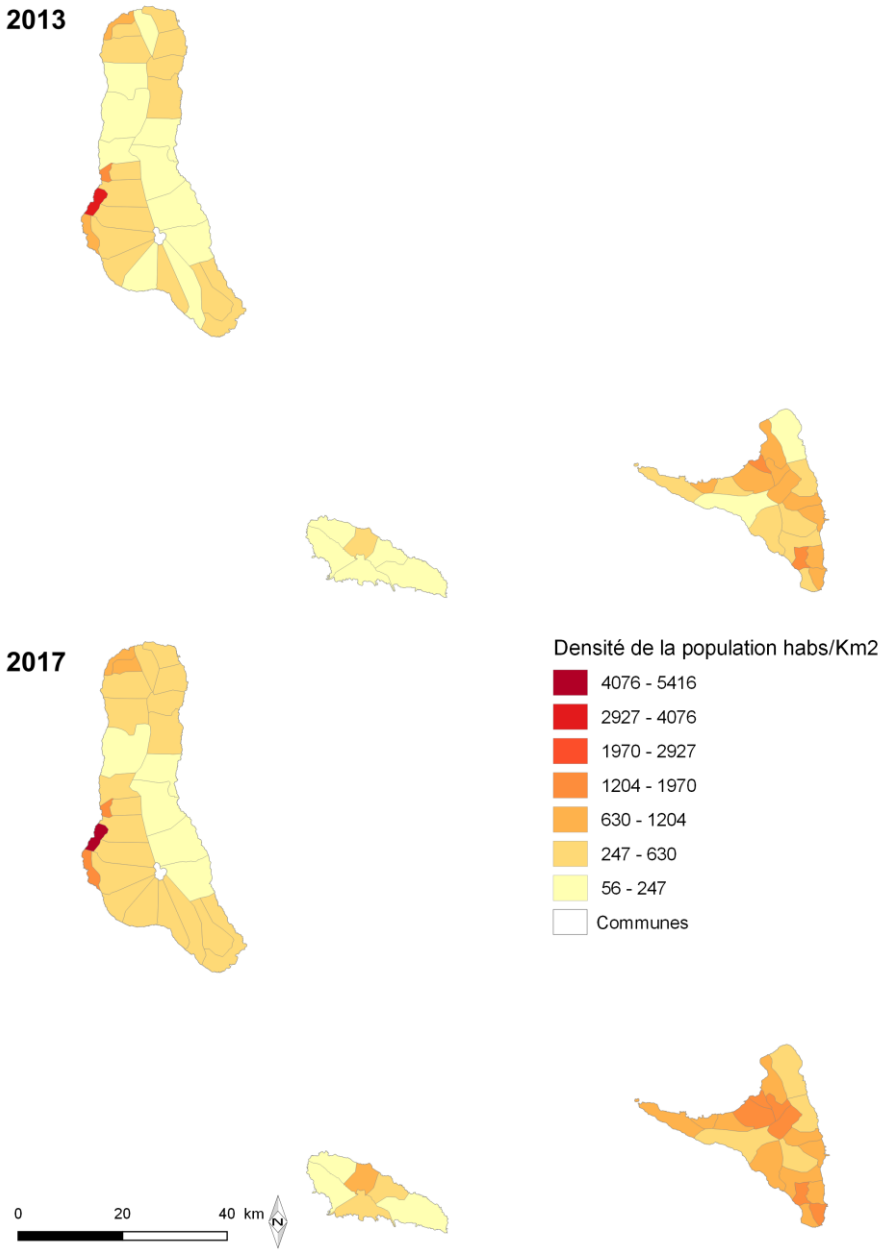


Figure 17 : Densité de la population par commune en 2003 et 2017 (Source des données : INSEED)

1.2 Offre, accès et recours aux soins dans l'Union des Comores : des inégalités encore fortes

Le système de santé est régi par la constitution de l'Union des Comores du 23 décembre 2011. Il est défini comme « ***l'ensemble des éléments constitutifs qui visent à assurer la protection et la promotion de la santé de l'individu, de la famille et de la collectivité*** ».

1.2.1 Une organisation administrative complexe

Le système national de santé de l'Union des Comores comporte les structures nationales et les structures régionales (liées à chaque île).

1.2.1.1 Administration nationale

Le Ministère de la Santé est l'organe exécutif de la politique de santé du gouvernement de l'Union des Comores (Photographie 4). Il organise l'ensemble des services de santé sur l'ensemble des îles. Les programmes de santé du Ministère sont coordonnés par la Direction Générale de la Santé (DGS). Elle a pour mission d'élaborer la « politique du gouvernement dans les domaines :

- des soins de santé et de la prévention ;
- de l'hygiène et de l'assainissement ;
- de la population et de l'action Socio-Sanitaire.»

Elle a également pour mission de planifier, de coordonner et de suivre l'exécution des différents programmes et des projets de santé du Ministère.

Il existe plusieurs directions qui sont sous le service et la supervision de la DGS :

- La Direction des hôpitaux et des formations sanitaires ;
- La Direction des laboratoires et des pharmacies ;
- La Direction de la santé familiale ;
- La Direction de la promotion de la santé ;
- La Direction de l'information sanitaire et des statistiques ;
- La Direction de la lutte contre les endémies et les épidémies ;
- La Direction de l'éducation sanitaire et de l'action socio sanitaire.

Photographie 4 : Bâtiment du Ministère de la Santé, de la Solidarité et du Genre

1.2.1.2 Administration régionale

Le Commissariat à la Santé est l'organe exécutif de la politique de santé des gouvernorats des îles autonomes. Les missions des commissariats ne sont pas définies par le Code de la Santé Publique, mais par la loi statutaire des îles. Le Code de la Santé Publique a défini trois directions régionales de la santé dont les missions sont « la mise en œuvre, au niveau de chaque île, de la politique du gouvernement et de celle de la région arrêtée par les Autorités de l'île dans le domaine de la santé Publique et des affaires Sociales » :

- La Direction Régionale de la Grande-Comore ;
- La Direction Régionale d'Anjouan ;
- La Direction Régionale de Mohéli.

Ces directions veillent au bon fonctionnement des services de santé des îles, au respect de la réglementation de l'offre de soins de la population et de la vente des médicaments. Elles

participent à la mise en œuvre des différents programmes de lutte contre les maladies (dont le paludisme).

Cette décentralisation des responsabilités de santé ne fonctionne pas toujours. Des conflits de compétence peuvent exister entre le Ministère de la Santé et les commissariats à la santé dans l'exécution des différents programmes au sein des Directions régionales de la santé. Surtout que le Code de la santé ne définit pas d'une manière précise l'implication du commissariat de la santé dans l'organisation du service des soins. L'article 33 précise que les directions régionales doivent mettre en œuvre la politique du gouvernement et des autorités des îles. Dans un article paru le 29 septembre 2017 dans le journal Al-watwan (Photographie 5), on peut lire que le commissariat à la santé de l'île de Ngazidja (Grande Comore) a octroyé une autorisation d'ouverture d'une pharmacie tandis que le ministère de la santé l'avait fermée pour non-respect des procédures d'ouverture défini par le Code de la santé. Ces conflits peuvent avoir un impact important sur l'organisation de l'offre de soins des îles.

Photographie 5 : Artcile du journal Al-Watwan du 29 Septembre 2017. (source: Al-Watwan (https://alwatwan.net/sante/pharmacie-dynapharm-conflit-de-comp%C3%A9tence-entre-%C3%AEle-et-union.html)

1.2.2 Une offre de soins variée et un accès souvent difficile

1.2.2.1 Organisation de l'offre de soins

Le Code de la santé définit l'organisation du système de soins du pays selon une carte sanitaire. Chaque île constitue une région sanitaire et possède un Centre Hospitalier Régional

(CHR). Chaque région sanitaire est subdivisée en districts sanitaires. Un district sanitaire est doté d'un Centre de Santé de District (CSD) ou d'un Centre Médico-Urbain (CMU) ou d'un Centre Médico-Chirurgical (CMC) ou d'un Hôpital de Pôle (HP) (Figure 18). La région sanitaire de la Grande Comore est ainsi subdivisée en sept districts sanitaires (Tableau 3) : Centre, Mitsamiouli Mboude, Hamahamet Mboinkou, Oichili Dimani, Mbadjini Est, Mbadjini Ouest et Hambou. La région sanitaire de Mohéli est subdivisée en trois districts sanitaires : Fomboni, Djandro et Nioumachioi. La région sanitaire d'Anjouan est subdivisée en sept districts sanitaires : Mutsamudu, Ouani, Tsembehou, Domoni, Mremani, Pomoni et Sima. Enfin, les Poste de Santé (PS) complètent l'offre de soins de chaque district sanitaire au niveau de certains villages.

Tableau 3 : Couverture sanitaire des îles en 2016 (sources des données : DGS)

Structures sanitaires	Mohéli	Anjouan	Grande Comore	Total
Population	53878	341539	410736	806153
Districts Sanitaires	3	7	7	17
Centres Hospitaliers (Nationaux ou Régionaux)	1	1	2	4
Centres de Santé de District	3 (17959)	5 (68307)	7 (58676)	15
Centres Médico-chirurgicaux	1	2 (170769)	3 (136912)	6
Postes de Santé	5 (10771)	17 (20090)	24 (17114)	46

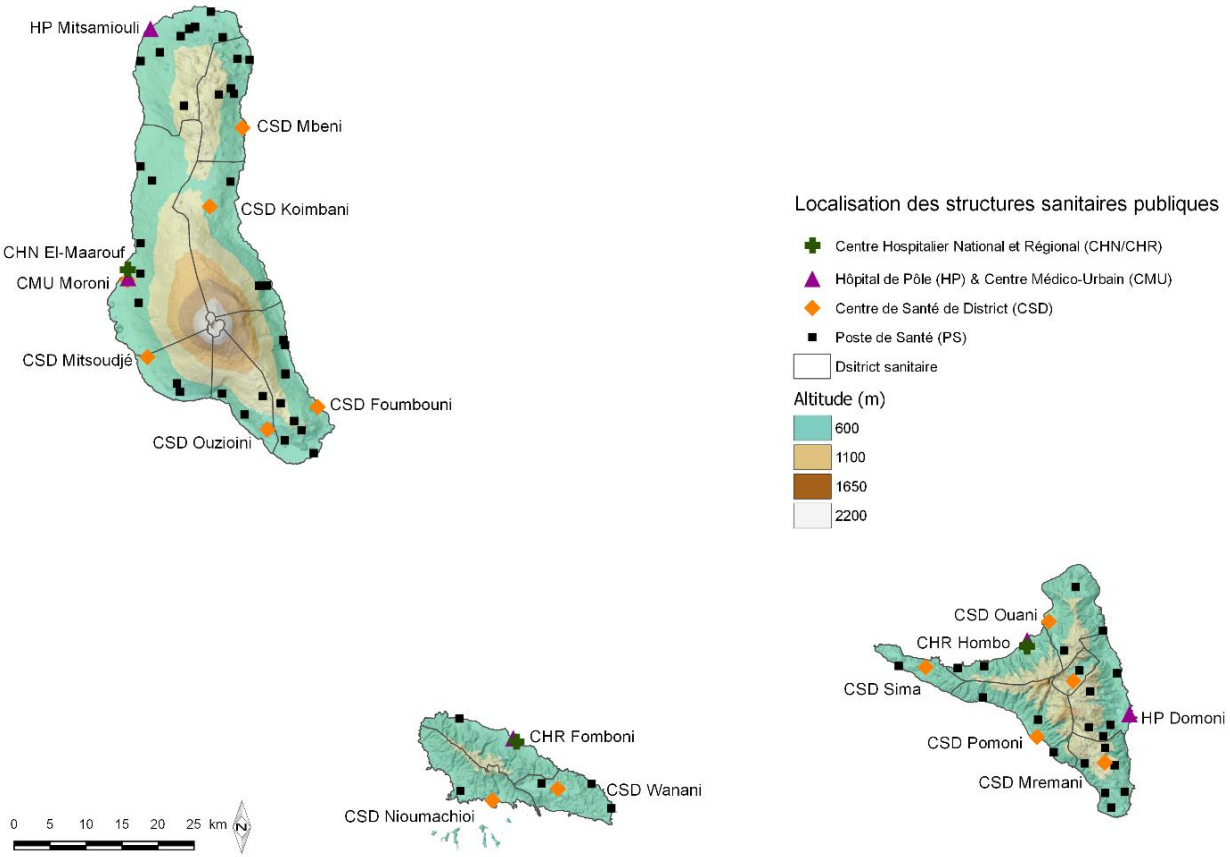


Figure 18 : Carte de localisation des structures de soins de l'Union des Comores

1.2.2.2 Une offre de soins publics importante mais inégale

Les centres Hospitaliers Régionaux (CHR) sont les principaux établissements de soins. Selon l'article 37 du Code de la santé, un CHR est un établissement « *regroupant les services spécialisés pour les soins curatifs en rapport avec les malades référés des autres formations sanitaires et assurant la prévention, la formation et la recherche* ». Il existe un centre hospitalier par île :

- le CHN EI-Maarouf à Moroni, en Grande Comore (Photographie 6) ;
- le CHR de Hombo à Anjouan ;
- le CHR de Fomboni à Mohéli.

Photographie 6 : Centre Hopsitalier National EL-Maarouf sis à Moroni

L'hôpital de Samba, situé entre le village de Zivandani et Ouellah Itsandre, est classé Centre Hospitalier Régional de l'île de la Grande Comore en 2015. En 2017, le nombre d'habitants par centre hospitalier est en moyenne de 55 404 à Mohéli, de 210 942 à la Grande Comore et 350 859 à Anjouan. Sur l'ensemble des trois îles, on dénombre en moyenne 207 037 habitants par Centre Hospitalier.

Caractéristiques du système sanitaire : personnel de santé, équipement sanitaire et financement

Plus de 80% des personnels de santé travaillent dans le secteur public et majoritairement dans les CHR. En 2015, l'Union des Comores comptabilisait 1,64 médecin généraliste pour 10 000 habitants et moins de 0,34 pour les autres professions médicales comme les dentistes, les pharmaciens ou les pédiatres (Tableau 4). Pour les personnels paramédicaux, on comptabilisait 5,5 sages-femmes d'État et 5,4 infirmiers d'État pour 10 000 habitants (Tableau 4). Les sages-femmes et les infirmiers d'État ont pratiquement doublé par rapport à 2005 où il y avait 3,05 sages-femmes et 2,6 infirmiers d'État pour 10 000 habitants. L'Union des Comores a adopté un plan stratégique de développement des ressources humaines pour la santé entre 2010-2015 et actualisé en 2016.

L'annuaire de santé de 2016 montre qu'en 2014 le taux des équipements fonctionnels dans les centres Hospitaliers est de 51,52% pour les services d'urgence, de 26,09% pour le bloc opératoire, de 94,33% pour le bloc de réanimation, de 61,62% pour les services de laboratoire, de 52,89% pour la maternité et 49,30% pour la médecine.

L'État a alloué à la Vice-Présidence chargée de la Santé 1,4 milliard de francs comoriens pour l'année 2015 (6,01% du budget) soit le quatrième pourcentage le plus élevé du budget de l'État derrière l'éducation nationale et la recherche. Dans ce budget, 78,48% est destiné aux subventions des établissements publics (exemple : évacuations sanitaires), 18,95% à la rémunération du personnel et 1,57% aux biens et services notamment l'entretien et la maintenance du matériel. Les ménages supportent plus de 50% de la dépense totale de santé par paiement direct dans les centres de santé. Les données relatives à la dépense de santé ne sont pas disponibles pour la période de 2015 mais en 2011, la dépense de santé était de 49,57 US$ (17 107,35 KMF) par habitant soit 13,27% du PIB.

Tableau 4 : Couverture des personnels de santé par rapport à la population en 2016 (Source des données : DISS)

Professions médicales	**Effectifs**	**Nombre de personnel pour 100 000 habitants**	**Professions paramédicaux**	**Effectifs**	**Nombre de personnel pour 100 000 habitants**
Médecins Généralistes	129	1,64	**Sage-femme Diplômée d'Etat**	432	5,50
Pharmacien	27	0,34	**Infirmier Diplômé d'Etat**	421	5,36
Dentiste/chirurgien-dentiste	24	0,30	**Aide-soignant(e)**	286	3,64
Chirurgiens	10	0,12	**Technicien de laboratoire**	88	1,12
Pédiatres	9	0,11	**Auxiliaires de pharmacie**	86	1,09
Gynécologues	8	0,10	**Infirmier breveté**	76	0,96
Ophtalmologues	5	0,06	**Agent technique de santé**	65	0,82
Stomatologues	5	0,06	**Biologiste**	64	0,81
Dermatologue	4	0,05	**Technicien de pharmacie**	44	0,56

Les Centres de Santé de District (CSD)

Selon l'article 38 du Code de la santé, le centre de santé de district est constitué d'« *une unité sanitaire réunissant un service de santé maternelle et infantile, un service de médecine générale, une maternité, des lits d'hospitalisation, un laboratoire d'analyses et un cabinet dentaire* ». Dans le cas où l'on pratique des activités chirurgicales dans le CSD, il devient un Centre médico-chirurgical (CMC) ou un Hôpital de Pôle (HP). En l'absence de lit d'hospitalisation, le CSD devient alors un Centre Médical Urbain (CMU). Les CSD sont les structures de soins publics ayant un médecin au plus près de la population.

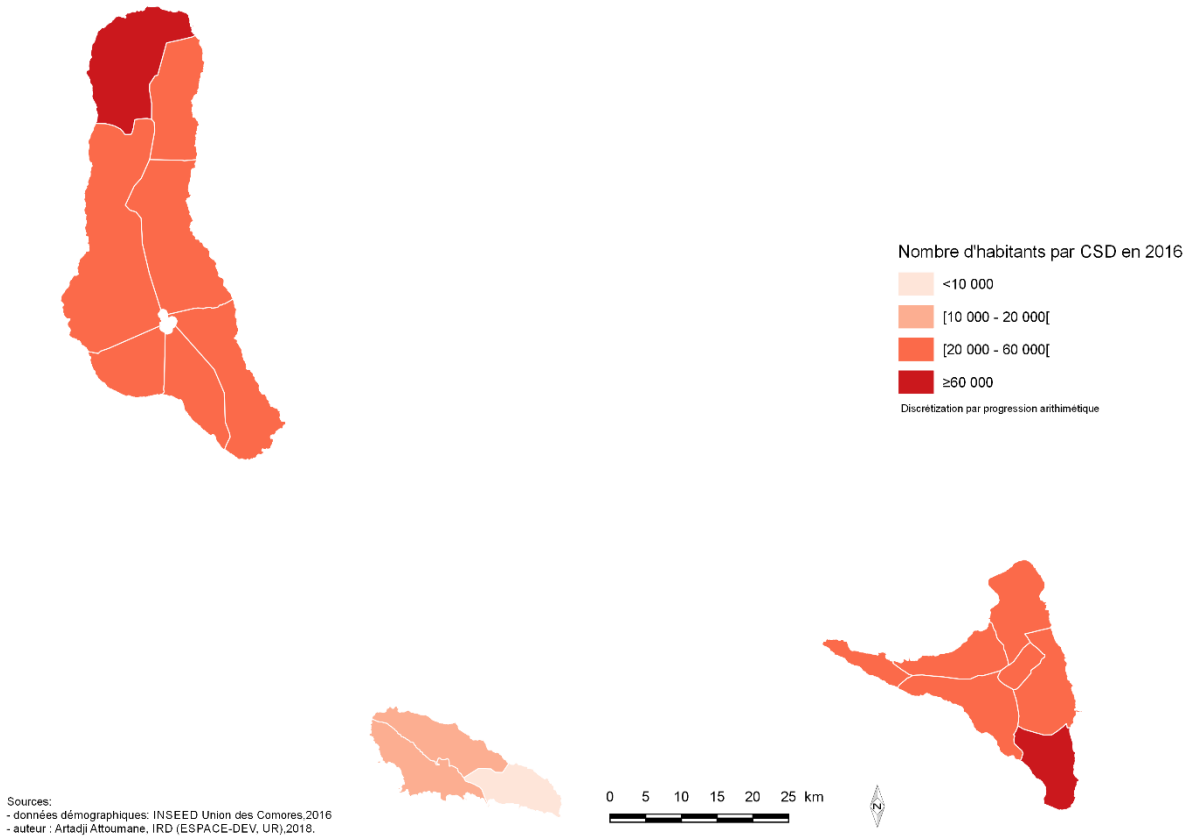


Figure 19 : Couverture en CSD par habitant et par district.

Un CSD couvre en moyenne plus de 12 432 habitants à Mohéli contre 44 064 habitants à Anjouan et 45 109 habitants à la Grande Comore en 2017. À Mohéli, le nombre d'habitants par CSD en 2017 est inférieur à 10 000 habitants dans le district de Djando et inférieur à 20 000 habitants sur les autres districts (Figure 19). À la Grande Comore et Anjouan, le nombre d'habitants par CSD varie entre 20 000 et 60 000 habitants sur l'ensemble des districts sanitaires sauf le district de Mitsamiouli et de Mremani où il y a plus de 60 000 habitants par CSD (Figure 18).

Les Postes de Santé (PS)

Photographie 7 : Poste de Santé de Djoezie

Selon l'article 39 du Code de la santé, un Poste de Santé est « *une unité sanitaire située dans une localité et ayant à sa tête un infirmier diplômé dont le devoir consiste à dispenser des soins de santé primaires et à promouvoir la santé de la collectivité conformément aux objectifs de la santé pour tous* ». Ces PS ont très souvent été financés par des dons de pays partenaires de l'Union des Comores, des ONG internationales accréditées aux Comores et des fonds de la diaspora comorienne en France. Ainsi le fond « Don de riz » du gouvernement japonais a permis la construction du PS de Djoezi à Mohéli (Photographie 7). Les PS ont une large couverture sur les communes de chaque île.

Chaque PS couvre moins de 10 000 habitants sur la majorité des communes de Mohéli et la Grande Comore (Figure 20). À Anjouan, un PS couvre plus 10 000 habitants sur la majorité des communes et certains d'entre eux dépassent 20 000 habitants par PS (Sima, Bambao et Mtruni) (Figure 20). Il y a ainsi une meilleure couverture des PS à la Grande Comore et Mohéli qu'Anjouan. Cette meilleure couverture à la Grande Comore s'explique par un fort investissement de sa diaspora dans la construction des PS. Certaines communes n'ont aucune localité où existe un PS. Bien que les villages soient proches les uns des autres, la population se déplace moins vers les PS des villages voisins. Plusieurs PS ne fonctionnent pas par manque d'équipement ou de personnel de soins primaires. Ils sont parfois fermés pendant plusieurs mois avant de rouvrir à nouveau.

Figure 20 : Nombre d'habitants par PS et par commune (source des données : INSEED)

1.2.2.3 Une offre de soins privés concentrée dans les centres urbains

Selon l'article 187 du Code de la santé, toute personne de nationalité comorienne, titulaire de diplôme de médecin, chirurgien-dentiste, pharmacien et/ou de biologiste médical peut exercer sa profession dans le secteur privé à condition d'être inscrite à l'ordre des médecins, chirurgiens-dentistes, pharmaciens et biologistes médicaux. Ce droit peut aussi être accordé aux étrangers souhaitant exercer en Union des Comores après une demande adressée au Ministre de la Santé.

Les statistiques sur les médecins et les pharmaciens privés sont très mal renseignées. Dans l'annuaire des statistiques sanitaires de 2016 ne figure aucune statistique concernant les médecins et les pharmaciens privés exerçants en Union des Comores. Entre 2001-2012, les cliniques et les cabinets privés représentaient 51% (44/86) des structures sanitaires de la Grande Comore et 35% (15/43) à Anjouan. Aucune clinique ou cabinet privé n'a été identifié à Mohéli dans la même période. Les cliniques ou les cabinets privés de la Grande Comore sont tous localisés dans le district du Centre (Moroni). À Anjouan, plus de 73% (11/15) des cliniques ou des cabinets privés sont localisés à Mutsamudu et au moins un cabinet privé dans

les districts d'Ouani, Tsembehou, Domoni et Mrémani. Les médecins privés ne desservent pas les villages ruraux sur l'ensemble des îles ce qui oblige la population à se déplacer pour se rendre dans leur cabinet.

En 2015, on dénombre 0,34 pharmacien pour 10 000 habitants dans l'Union des Comores[6]. Ce ratio est en augmentation de 19% par rapport à 2012 (0,23). Les données de 2015 n'indiquent pas le nombre de pharmaciens privés. L'enquête sur le profil pharmaceutique de l'Union des Comores de 2011 montre que sur les 23 pharmacies autorisées à exercer, plus de 83% des pharmaciens proviennent du secteur privé et exercent dans les milieux urbains (75%)[7]. Ceci montre un désert en termes de pharmaciens dans les villages ruraux. Afin d'y pallier, le Code de la santé autorise, par l'article 246, l'ouverture de pharmacies villageoises détenues par des structures communautaires après accord du Ministère de la Santé.

1.2.3 Un recours aux soins inégal

À quelle hauteur les structures de formations sanitaires sont fréquentées par la population comorienne ? Cette question suscite notre réflexion pour mieux comprendre les inégalités d'accès aux soins offerts par les différentes structures de santé et les inégalités spatiales inter et intra-îles.

En 2016, 249 558 habitants ont fréquenté les structures de soins publics soit 31 % de la population comorienne. La population de Mohéli fréquente davantage les structures de soins de publics (58 %) qu'en Anjouan (30 %) et à la Grande Comore (28 %). Le CHR de Fomboni a reçu plus de 33 % de la population de Mohéli (Tableau 5). Le CHR de Fomboni, au-delà qu'il soit la structure de soins de référence de l'île, sa proximité aux localités favorise la fréquentation (se situe à moins de 30 km). Les habitants de l'île d'Anjouan consultent davantage les CSD (11,81 %) que le CHR de Hombo (3,41 %) (Tableau 5). Le CHR de Hombo se trouve à plus de 30 km des districts de ; Mremani, Domoni et Sima, où plusieurs localités sont peuplées de plus de 3 000 habitants (Figure 20). Cet éloignement limite l'accessibilité au CHR de Homobo pour une grande partie de la population de l'île. À la Grande Comore, la population fréquente au même niveau les CSD que les CHN El-Maarouf (6 %) (Tableau). Il n'y a pas de grande différence sur le taux de fréquentation des structures de soins publics à la Grande Comore. Nous pouvons remarquer que la fréquentation de la

[6] Rapport Profil du Secteur Pharmaceutique de Pays Comore, Union des Comores, 2011.66p
[7]

population au Centre de santé Caritas (CTS) est aussi importante à Mohéli (7,86 %) et à la Grande Comore (4,23 %). Les coûts de consultation faible et la présence de médecin étrangère au Caritas pouvaient être des facteurs attractifs de la population.

Tableau 5 : Couverture de la consultation par catégories de structures de soins et par île en 2016. (sources des données : PNLP)

îles	**Catégories de structures**	**Nombre de consultation**	**Population**	**Proportion de consultation (%)**
Anjouan	CHR	11 645	341 539	3,41
	CMU	14 092		4,13
	CSD	40 331		11,81
	CTS	3 766		1,10
	PS	31 919		9,35
Grande Comore	CHN	28 641	410 736	6,97
	CHR	1 926		0,47
	CMU	7 269		1,77
	CSD	25 375		6,18
	CTS	17 365		4,23
	PS	29 503		7,18
	SSM	6 262		1,52
Mohéli	CHR	17 804	53 878	33,05
	CMU	2 115		3,93
	CSD	3 755		6,97
	CTS	4 235		7,86
	PS	1 060		1,97
	SSM	2 495		4,63

1.2.4 Situation sanitaire

L'analyse des pathologies dominantes en Union des Comores nous permet quant à elle de caractériser l'état de santé de la population comorienne.

1.2.4.1 Maladies transmissibles et non transmissibles

En Union des Comores, les principales causes de morbidité, diagnostiquées en milieu hospitalier, sont : le paludisme, les infections respiratoires aiguës (IRA), les maladies diarrhéiques et la fièvre typhoïde. Ces maladies font l'objet de déclarations et d'un suivi

obligatoires dans le cadre de la Surveillance Intégrée des Maladies et la Riposte (SIMR) mises en place par le Ministère de la Santé en coordination avec l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). La situation épidémiologique de ces pathologies est différente sur les trois îles.

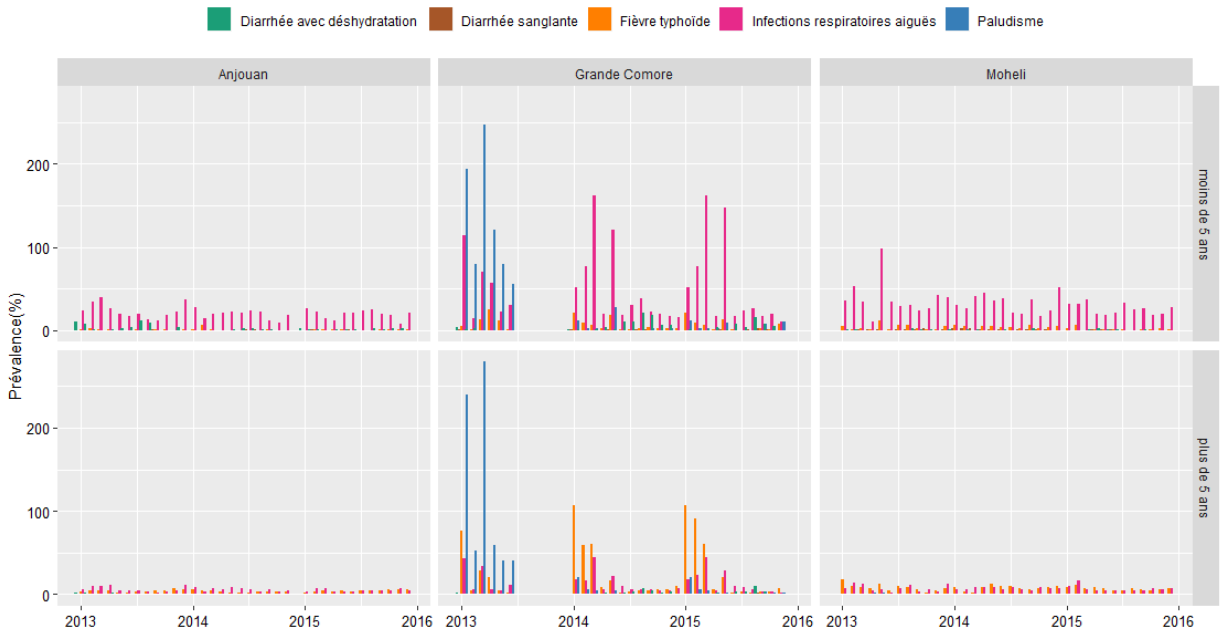


Figure 21 : Evolution de la prévalence mensuelle des patholohies surveillées dans la SIMR entre 2013-2015 (sources des données : SIMR)

Paludisme : à la Grande Comore, le paludisme a été la maladie la plus notifiée en milieu hospitalier en 2013 avec une prévalence annuelle de 147 % chez les sujets de moins de 5 ans et 112 % chez les sujets de plus de 5 ans. Sur la figure 21, nous pouvons voir une prévalence mensuelle supérieure à 150 % chez les deux sujets. Cette situation épidémiologique est unique à la Grande Comore, car on avait une prévalence de moins de 1 % chez les sujets de moins de 5 ans et plus de 5 ans à Anjouan et Mohéli. Depuis 2014, on observe une prévalence annuelle de moins de 5 % chez les deux sujets à la Grande Comore (Figure 21). Suite aux différentes actions d'élimination de la maladie notamment le traitement de masse et la distribution de MILDs réalisés fin 2013 par le PNLP, la prévalence mensuelle du paludisme en milieu hospitalier a considérablement diminué entre 2013 et 2015 à la Grande Comore. Ainsi, le paludisme n'est pas la maladie la plus notifiée en milieu hospitalier à la Grande Comore, mais plutôt les infections respiratoires aiguës et d'autres pathologies.

Les infections respiratoires aiguës (IRA) : les sujets de moins de 5 ans sont très affectés par les infections respiratoires aiguës entre 2013 et 2015 (Figure 21). En 2013, la prévalence

annuelle des IRA a été de 72 % à la Grande Comore, 33 % à Mohéli et 25 % à Anjouan. Chez les sujets de plus de 5 ans, on a une prévalence de moins de 20 % à la Grande Comore et moins de 10%à Mohéli et Anjouan. Les IRA sont les pathologies les plus notifiées mensuellement en milieu hospitalier depuis 2013 à Mohéli et Anjouan et depuis 2014 à la Grande Comore (Figure 21).

La fièvre typhoïde : Chez les sujets de plus de 5 ans, on observe une prévalence annuelle de 20 % à la Grande Comore, 8 % à Mohéli et 4 % à Anjouan pour l'année 2013. Chez les sujets de moins de 5 ans, la prévalence annuelle est inférieure à 2 % à Anjouan et Mohéli, et moins de 10 % à la Grande Comore. Sur la figure 20, nous observons une prévalence mensuelle supérieure à 80 % entre janvier et mars pour l'année 2014 et 2015. La fièvre typhoïde s'explique en partie par la consommation d'eau de pluie ou de rivière. Cette consommation d'eau non traitée peut également causer d'autres maladies hydriques comme les diarrhées.

Les maladies diarrhéiques : les enfants de moins de 5 ans sont globalement les plus affectés par les maladies diarrhéiques (diarrhées avec déshydratations ou diarrhées sanglantes), mais ils le sont beaucoup plus à la Grande Comore et à Anjouan. En 2013, la prévalence annuelle de la diarrhée avec déshydratation a été de 4,4 % chez les sujets de moins de 5 ans à Anjouan et 1,45 % chez à la Grande Comore. La prévalence a été inférieure à 1 % pour les sujets de plus de 5 ans sur l'ensemble des îles. La prévalence de la diarrhée sanglante a été de 2 % pour les enfants de moins à la Grande Comore et moins 1 % pour les deux sujets à Mohéli et Anjouan pour l'année 2013. D'ailleurs en 2014, la prévalence des cas de diarrhée avec déshydratation a été multipliée par 6 chez les enfants de moins 5 ans à la Grande Comore.

D'autres maladies, qui ne font pas l'objet de surveillance obligatoire, sont également répertoriées dans la population comorienne notamment l'hypertension, le diabète, les IST et les traumatismes. En 2014, l'hypertension a affecté en moyenne 3 individus sur 1000 aux Comores. Elle a affecté plus de 8 individus sur 1000 à Mohéli soit 4 fois la prévalence de la Grande Comore (Tableau 6). La prévalence des IST est très élevée à Mohéli (8,75 ‰) alors qu'il y a en eu moins de 3 individus affectés sur les autres îles. La plus faible prévalence de diabète est notifiée à la Grande Comore (0,42‰). Les traumatismes (causés par les accidents de la route) ont affecté plus de personnes à Mohéli (6,76 ‰) soit deux fois le nombre de personne affectés à la Grande Comore. Il faut noter que les cas de cancers ne sont pas repertoriés dans l'annuaire de santé et dans la base SIMR.

Tableau 6 : Prévalence du diabète, de l'hypetension, des IST et des traumatismes en 2014 (sources des données : SIMR)

îles	Maladies	Nombre de cas	Population	Prévalence‰
Grande Comore	Diabète	165	389 446	0,42
Anjouan		366	323 653	1,13
Mohéli		104	50 854	2,05
Grande Comore	Hypertension	840	389 446	2,16
Anjouan		1 074	323 653	3,32
Mohéli		430	50 854	8,46
Grande Comore	IST	832	389 446	2,14
Anjouan		459	323 653	1,42
Mohéli		445	50 854	8,75
Grande Comore	Traumatismes	1 223	389 446	3,14
Anjouan		23	323 653	0,07
Mohéli		344	50 854	6,76

1.3 L'élimination du paludisme, un défi de santé aux Comores et dans le Monde

Selon le rapport mondial sur le paludisme de 2018, plus de 219 millions de personnes ont contracté le paludisme dans le monde en 2017 avec plus de 435 000 décès (WHO, 2018b). Face à cette situation sanitaire majeure, des efforts sont fournis depuis plusieurs années pour atteindre la diminution, voire l'élimination du paludisme dans le monde. Ce défi reste immense dans les pays d'Afrique subsaharienne où sont enregistrés plus de 92% des cas et des décès dus paludisme (WHO, 2018b).

1.3.1 État du paludisme dans le monde

Un paludisme à *Plasmodium falciparum*

Le paludisme est une maladie provoquée par des protozoaires parasites du genre *Plasmodium*. Ce sont des sporozoaires qui sont transmis d'un individu à l'autre par un moustique (Anophèle). Cette transmission se fait lors d'un repas sanguin du vecteur chez une personne infectée et saine après un cycle sporogonique. Le genre *Plasmodium* compte cinq espèces à l'origine du paludisme dans le monde : *Plasmodium falciparum*, *P. malaria*, *P. Vivax*, *P.*

ovale et *P. Knowlesi*(Krogstad, 2000 ; Cox-Singh et al., 2008). En Afrique, *Plasmodium falciparum a causé plus de 99% des cas de paludisme en 2017* (WHO, 2018). C'est aussi le parasite le plus répandu dans le monde. Dans les autres régions de l'OMS, *P. falciparum* est responsable de :

- plus de 69% des cas de paludisme dans les pays d'Amérique du Sud ;
- plus de 62% dans les pays de la Méditerranée et de l'Asie du sud.

En Afrique, *P. Vivax* ne représente que 2% des cas de paludisme. La fraction de transmission des autres espèces de plasmodiums est encore plus faible (inférieure à 1%). Le cycle de transmission du plasmodium peut être différent d'une espèce à l'autre.

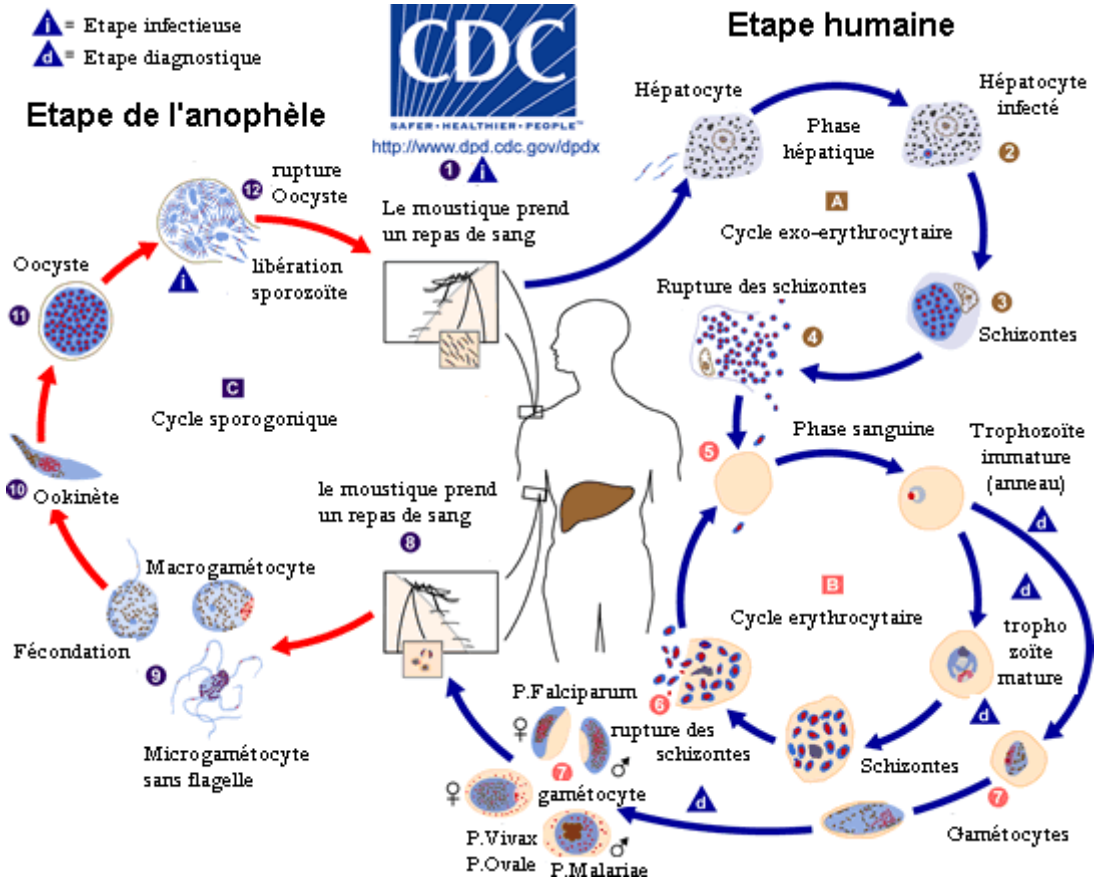


Figure 22 : Cycle biologique du paludisme (source : www.cdc.gov/malaria/about/biology/index.html)

Il se fait en deux grandes phases (Mouchet, 2004 ; Pages *et al*., 2007): une phase asexuée et une phase sexuée. La phase asexuée se déroule dans le foie de l'Homme, une heure après de l'inoculation du sporozoïte lors du repas sanguin du vecteur. Dans un premier temps, les

sporozoïtes se divisent dans l'hépatocyte et deviennent des schizontes hépatiques qui, une fois arrivés à maturité, vont éclater pour libérer des milliers de mérozoïtes. Cela se déroule en dehors des globules rouges : c'est la phase exoérythrocytaire (phase A - Figure 22). Le nombre de mérozoïtes est caractéristique de chaque espèce. Il y a plus de mérozoïtes pour *P. falciparum* que pour les autres espèces. Dans les hématies, les mérozoïtes se transforment en trophozoïtes puis en schizontes érythrocytaires avec seize ou trente-deux noyaux fils qui donnent un mérozoïte, une fois que le globule éclate. Si un mérozoïte parasite une hématie saine, le cycle schizogonique recommence : c'est la phase érythrocytaire (Phase B - Figure 22). La phase sexuée se déroule chez l'anophèle lors d'un nouveau repas sanguin chez l'individu ayant été parasité. Des gamétocytes mâles et femelles sont absorbés par l'anophèle et se transforment en gamètes dans l'estomac. La fécondation entre les deux gamètes donne un ookinète (zygote mobile) qui forme un oocyte après avoir traversé la membrane péritrophique. Les cellules dans l'oocyte subissent différentes divisions dont une méiose et deviennent un plasmodium haploïde avec 13 chromosomes. Elles prennent alors une forme allongée et se transforment en sporoblastes puis en sporozoïtes qui, après éclosion de la paroi de l'oocyte, se libèrent dans la cavité du vecteur et continuent leurs maturations. C'est le cycle sporogonie (Phase - Figure 22).

<u>Une endémie palustre inquiétante en Afrique</u>

Le paludisme diminue de 20 millions de cas dans le monde entre 2010 et 2017(WHO, 2018b). L'incidence du paludisme dans le monde passe de 72 cas pour 1 000 habitants en 2010 à 59 cas pour 1 000 habitants en 2017 soient une baisse de 18%. Cette baisse est importante dans la région d'Asie du sud-est (48%) et très faible en Afrique (20%). En 2017, dix pays d'Afrique[8] ont rapporté une augmentation de plus de 20% des cas de paludisme (WHO, 2018b). Parmi ces pays on retrouve notamment Madagascar et les Comores, des pays voisins soumis à un climat tropical.

Quatre pays d'Afrique ont notifié une incidence de 300 cas pour 1000 habitants en 2017. Parmis ces pays, on retrouve le Burundi, le Burkina Faso, la Zambie et le Mozambique. La majorité des pays ont notifié une incidence comprise entre 100-300 cas pour 1000 habitants (Figure 23). Dans cet intervalle se rertrouvent des pays de l'Afrique de l'Ouest, Centrale et de l'Est. Certains pays ont enrégsitré une faible transmission du paludisme, moins de 10 cas pour

[8] Les dix pays d'Afrique : Botswana, Cap-Vert, Comores, Érythrée, Swaziland, Madagascar, Namibie, Sénégal, Afrique du Sud et Zimbabwe

1000 habitants. Il s'agit de l'Afrique du sud, de la Mauritanie, du Zwaziland, du Cap-Vert, des Comores et du Botswana. Selon l'OMS, ces pays doivent accélerer les efforts de lutte pour aller vers l'élimination du paludisme. Pour cela, certains pays disposent de programmes d'élimination à l'échelle nationale dont l'Afrique du Sud, le Botswana et le Zwailande.

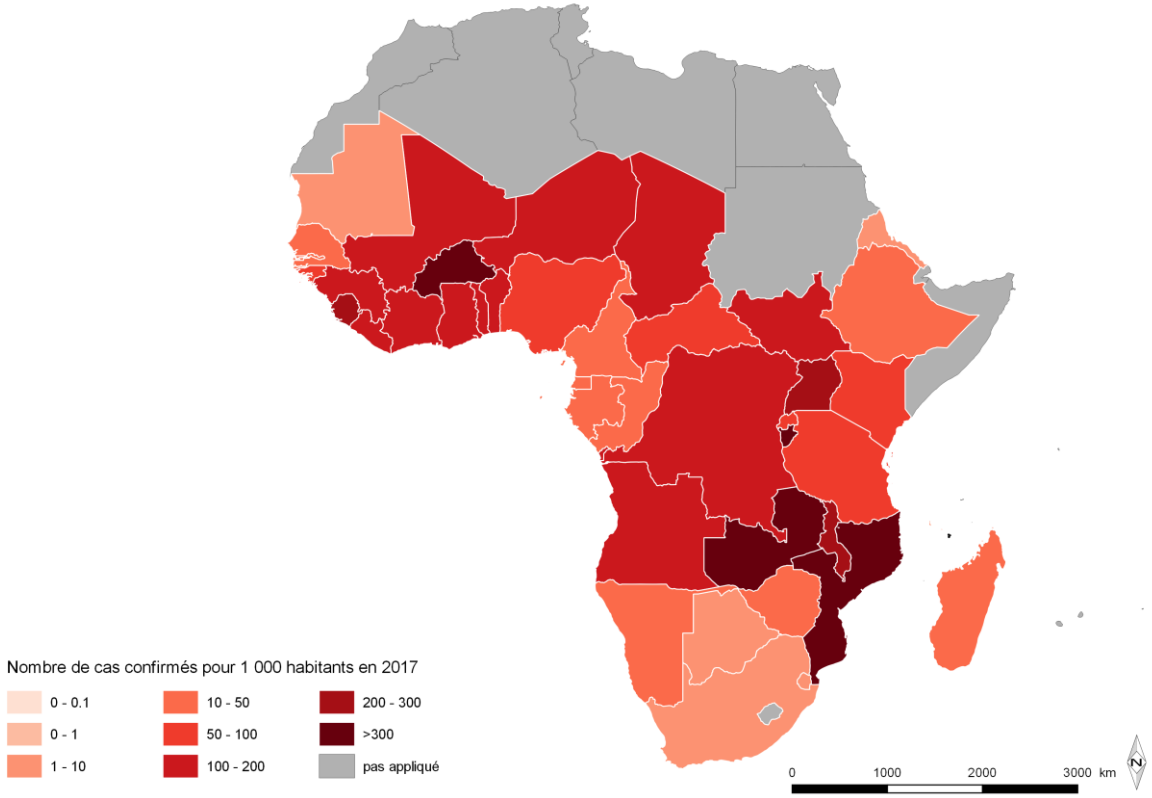


Figure 23 : Nombre de cas de paludisme confirmés dans les pays de la région d'Afrique de l'OMS en 2017 (source des données : Rapport mondial du paludisme 2018 (OMS))

Une lutte contre le paludisme mise à mal par le financement

Lors de la 66ème conférence mondiale de la santé en mai 2015, l'OMS avec l'avis des États membres, a adopté une stratégie mondiale de lutte contre le paludisme pour la période 2016-2030. À compter de 2015, les objectifs de cette stratégie sont de :

- réduire le nombre de décès de plus de 90% d'ici 2030 ;
- réduire l'incidence du paludisme de plus de 90% d'ici 2030 ;
- éliminer le paludisme au minimum dans 35 pays dans le monde d'ici 2030 ;

- éviter la réintroduction du paludisme dans les pays impaludés.

Pour parvenir à ces objectifs, l'OMS exhorte les Programmes Nationaux de Lutte contre le Paludisme (PNLP) d'adapter leurs stratégies nationales à la stratégie mondiale, selont trois grands axes :

- ***Assurer un accès universel à la prévention, au diagnostic et au traitement du paludisme*** : cela doit être l'objectif primordial de toute stratégie des PNLP dans le monde. Pour cela, ils doivent s'assurer de la couverture de la population par toutes les actions de prévention (lutte anti-vectorielle), le diagnostic et le traitement (accès aux médicaments) ;

- ***Accélérer les efforts en vue de l'élimination et de l'obtention du statut d'indemne de paludisme :*** cela doit être le statut que chaque pays doit chercher à obtenir. Des efforts doivent être faits sur la surveillance des zones géographiques à faible transmission. Des cibles de surveillance doivent être définies selon chaque stratégie ;

- ***Transformer la surveillance du paludisme en une intervention de base :*** cela doit être la finalité de chaque PNLP. Chaque pays doit être en mesure de maintenir la surveillance du paludisme dans son système de surveillance sanitaire.

Le financement de la mise en œuvre de cette stratégie et des stratégies nationales est un défi majeur pour l'élimination du paludisme. Selon le rapport mondial sur le paludisme de 2017, 2,7 milliards de dollars ont été investis pour la lutte contre le paludisme en 2016. L'Afrique a bénéficié de 74% de ces fonds contre 7% pour l'Asie du Sud-est, 6% pour la Méditerranée orientale, 6% pour les pays d'Amérique et 4% pour les pays du Pacifique. Les États-Unis restent le premier financeur de la lutte contre le paludisme à hauteur de 38% des fonds de 2016. Les États des pays endémiques n'ont financé que 31% des fonds de 2016. La gestion des fonds de lutte contre le paludisme est assurée par le Fonds mondial de lutte contre le sida, la tuberculose et le paludisme (Fonds mondial) qui a géré 57% des fonds de 2016. Selon le rapport de 2017 (WHO, 2017), pour atteindre les objectifs de la stratégie mondiale, les financements devaient s'élever à hauteur de 6,5 milliards de dollars d'ici 2020. Or depuis 2010, le montant du financement de la lutte contre le paludisme est stable. Alors que les besoins augmentent, les financements ont diminué de 64% entre 2010 et 2016 pour les pays de l'Afrique de l'Ouest et de 40% pour les pays avec une faible transmission en Afrique de

l'Est et du Sud. Les conséquences ont été que ces pays en voie d'élimination du paludisme ont vu la situation épidémiologique s'empirer.

Vingt-et-un pays en voie d'élimination du paludisme d'ici 2020

En 2016, l'OMS avait classé 21 pays en voie d'élimination du paludisme d'ici 2020 en se référant à l'évolution de l'incidence entre 2000 et 2014, des ambitions déclarées par ces pays et des opinions des experts de l'OMS. Il s'agit de 6 pays de l'Afrique, 7 pays d'Amérique, 2 pays de la Méditerranée de l'Est, 3 pays de l'Asie du Sud et 3 pays du Pacifique de l'Ouest. Aujourd'hui, seul le Paraguay a atteint cet objectif et est certifié pays sans paludisme par l'OMS. L'Union des Comores figure parmi les pays où il y a plus 1000 cas indigènes tout comme le Botswana, Cap-Vert, les Comores, l'Afrique du Sud et le Swaziland, l'Équateur, le Mexique, l'Arabie saoudite, le Népal, la République de Corée (WHO, 2018a).

En Union des Comores, après la campagne de traitement de masse et de distribution des moustiquaires MILDES en 2013, le nombre de cas de paludisme indigène avait considérablement diminué de 53 156 cas en 2013 à 1 066 cas en 2016. Malheureusement, 4 852 cas indigènes ont été déclarés en 2017 soit une augmentation de 64% en une année. Pour faire face à cette recrudescence, l'Union des Comores doit impérativement (WHO, 2018a):

- mettre à jour le plan de stratégie nationale ;
- renforcer l'engagement politique ;
- renforcer les partenariats avec les secteurs privés ;
- intégrer davantage les communautés locales dans la lutte ;
- renforcer le système de surveillance des cas et les capacités techniques d'intervention.

1.3.2 Historique du paludisme aux Comores

<u>Une Littérature scientifique reduite</u>

Peu de travaux ont été publiés sur le paludisme aux Comores, et sur la santé d'une manière plus globale. Dans le cadre de cette thèse, une recherche bibliographique a été faite pour identifier tous les travaux portants sur le paludisme aux Comores, avec quelques mots cles :

paludisme, archipel des Comores, RFIC, Union des Comores, vecteurs, parasites, résistance, chloroquine, *P. falciparum*, MILDs, Artequick. Ces recherches ont été effectuées sur les moteurs de recherche (Scholar, PubMed, SciencesDirect, etc,.), sur le site de référence des thèses universitaires en France (theses.fr) et dans les bibliothèques (Université de la Réunion et aux Comores). Nous avons collecté 45 documents scientifiques référencés, dont deux travaux de thèse. Ces travaux ont été publiés entre 1980 et 2017 (Figure 24). Avant 1980, il existe des récits sur le paludisme, de voyageurs et des médecins de la période coloniale, mais ils ne sont pas facilement accessibles. Un tiers des travaux ont été publiés entre 1980 et 1999 et les deux autres tiers depuis entre 2000 et 2017. Les financements des projets de santé et la mise en place du Programme National de Lutte contre le Paludisme à la fin des années 1990 et au début des années 2000 ont donc considérablement amélioré les connaissances sur le paludisme et la disponibilité de données épidémiologiques. Ceci explique l'augmentation des publications scientifiques sur le paludisme au cours des dernières années. Cette évolution est aussi associée à plus de collaborations avec des institutions scientifiques étrangères (en moyenne 1,7 institution étrangère par article entre 1980 et 1999 et 3,3 entre 2000 et 2017) (Figure 23). Par conséquent, les publications sont plus fréquemment en anglais : seulement 7% des publications sur le paludisme étaient en anglais entre 1980 et 1999, contre 73% entre 2000 et 2017. Par ailleurs, le nombre d'articles où le premier auteur est de nationalité comorienne ou de consonance comorienne est passé de 7% entre 1980 et 1999 à 27% entre 2000 et 2017 (Figure 24). Au cours des cinq dernières années, les chercheurs comoriens publient encore davantage sur le paludisme en tant que premier auteur.

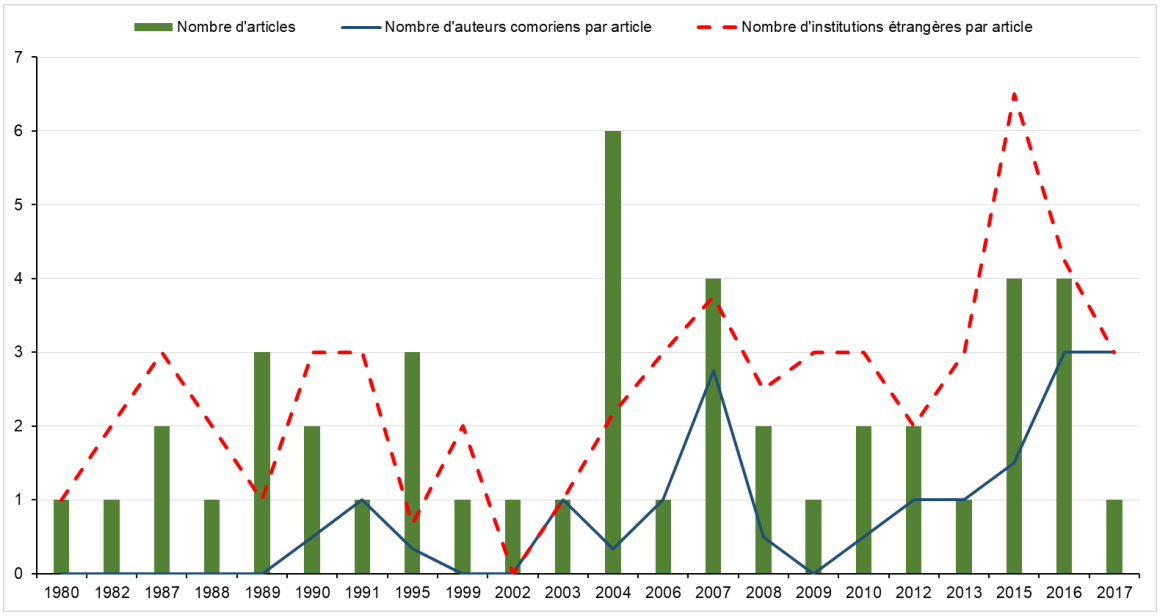


Figure 24 : Evolution de la littérature scientifique sur le paludisme aux Comores

Sur l'ensemble des travaux publiés sur le paludisme aux Comores depuis 1980, 38% portent sur la parasitologie, 28% de l'épidémiologie et 18% de la génétique (Figure 25). Ce sont des travaux qui décrivent principalement la situation épidémiologique du paludisme, la résistance des parasites aux médicaments et les différentes mutations observées chez les différentes espèces de parasites. Il y a eu très peu d'études publiées spécifquement en entomologie aux Comores, alors que c'est une des disciplines indispensables dans la connaissance sur le paludisme. Ceci montre l'absence d'une référence scientifique sur la connaissance écologique et la distribution spatiale des moustiques vecteurs du paludisme aux Comores. Les travaux de revue sur le paludisme représentent 13% des publications entre 1980 et 2017 (Figure 25). Ils aident à retracer l'évolution du paludisme depuis la période coloniale.

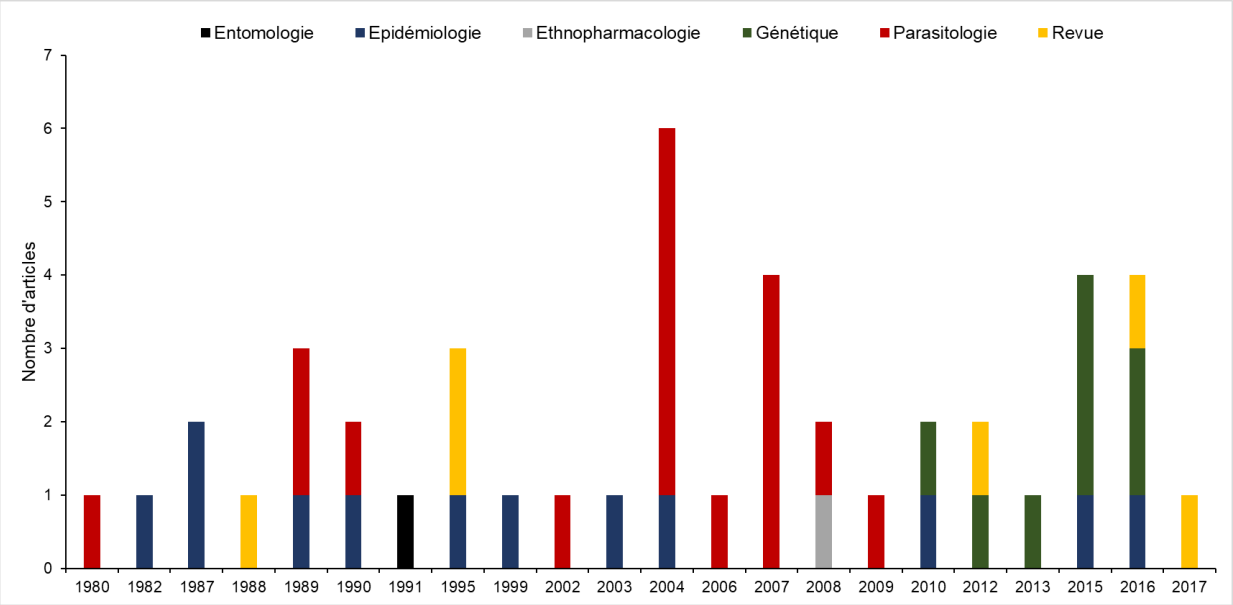


Figure 25 : Princiaux domaines des publications scientifiques sur le paludisme aux Comores

Evolution épidémiologique du paludisme depuis 1955

L'histoire de l'introduction du paludisme dans l'Archipel des Comores est associée à l'histoire de son peuplement et des différents mouvements de marins dans l'océan Indien entre le XIIe et XIXe siècles (Julvez, 1995). Les Arabes provenant de la côte Est de l'Afrique avec des esclaves noirs, les pirates malgaches et les colons européens provenaient tous des régions palustres et pouvaient être à l'origine de l'implémentation du paludisme dans la zone de l'océan Indien notamment dans les îles de l'Archipel des Comores (Julvez *et al.*, 1990). La

date d'introduction du paludisme aux Comores reste confuse entre les différents auteurs. Le paludisme aurait été décrit à Mohéli au XVe siècle dans le livre de Jean Martin en 1983 (Pasquier, 1985). Mais, le débarquement des pirates malgaches entre 1792 et le début du XIXe siècle serait à l'origine de l'introduction des parasites du paludisme à Mayotte (Halidi, 1995). D'ailleurs, le parasite du paludisme a été déjà signalé au XVe siècle (Julvez, 1995). Au début du XXe siècle, le paludisme devient une endémie dans l'ensemble des îles de l'Archipel des Comores(Julvez, 1995). La présence de milieux palustres et un réseau hydrographique dense dans l'île de Mohéli et Anjouan ont été favorables à l'adaptation des vecteurs du paludisme contrairement à la Grande Comore(Blanchy et al., 1987). Il aurait fallu attendre la construction des citernes de collecte de l'eau de pluie pour permettre l'adaptation des vecteurs à la Grande Comore (Raynal, 1928b).

La première grande épidémie de paludisme a été décrite par Raynal en 1925. Il y a eu 104 lames positives à la Grande Comore dont 58 cas de *P. falciparum* (56%), 34 cas de *P. Vivax* (33%) et 12 cas de *P. malaria* (11%) (Raynal, 1928b). De cette épidémie, on a eu la première cartographie du paludisme à la Grande Comore. Le Sud de l'île était une zone de transmission de *P. Vivax* alors que *P. falciparum* se transmettait davantage à Moroni et ses environs, et sur la zone côtière du Nord et du versant Est (Julvez, 1995). Aucun cas de paludisme n'a été observé dans les villages situés à plus de 500 mètres d'altitude. Ceci montre une stratification altitudinale du paludisme à la Grande Comore, mais également dans les autres îles. Cette épidémie de 1925 a causé entre 15 à 25% de mortalité induit à la Grande Comore (Raynal, 1928b). La description épidémiologique du paludisme aux Comores se faisait à travers des enquêtes menées par certains chercheurs ce qui rendait difficile la disponibilité des données. Cela a considérablement changé depuis la création de l'OMS en 1948. Cette dernière a été à l'origine de la mise en place de la base de données mondiale sur le paludisme accessible à tous à travers les rapports de mondiaux sur le paludisme.

L'évolution du paludisme en Union des Comores peut être retracée depuis 1955, soit 7 années après la création de l'OMS, grâce à différents rapports :

- Rapport épidémiologique et démographique de 1966 pour les données de 1955 à 1964 ;
- Annuaire annuel des statistiques sanitaires mondiales de 1983 pour les données de 1962 à 1981 ;

- Relevé épidémiologique hebdomadaire de 1999 pour les données de 1982 à 1997 ;
- Rapport mondial sur le paludisme de 2010 pour les données de 1990 à 2010 ;
- Rapport mondial sur le paludisme de 2017 pour les données de 2010 à 2016.

L'évolution historique peut être synthétisée en deux périodes : de 1955 à1976 et de 1977 à 2017.

Le paludisme de 1955 à 1976 : en 1955, 18 183 cas de paludisme ont été notifiés sur l'ensemble des îles de l'Archipel des Comores y compris à Mayotte (Figure 26). En projetant la population à partir du recensement de 1958 et de 1966, l'incidence du paludisme a été de 11 334 cas pour 100 000 habitants. C'est une situation très inquiétante pour une population estimée à 160 421 habitants. D'ailleurs, des campagnes de pulvérisation intradomiciliaire de Dieldrine ont été expérimentées entre 1954 et 1957 sur certaines zones des îles (Ouledi, 1995). Entre 1956 et 1969, le nombre de cas de paludisme est bas moins 8 000 cas et une incidence inférieure à 3 000 cas pour 100 000 habitants sauf en 1956 et en 1963. Depuis 1970, le nombre de cas est élevé de 8 166 cas en 1970 à 30 352 cas en 1976 (Figure 26).

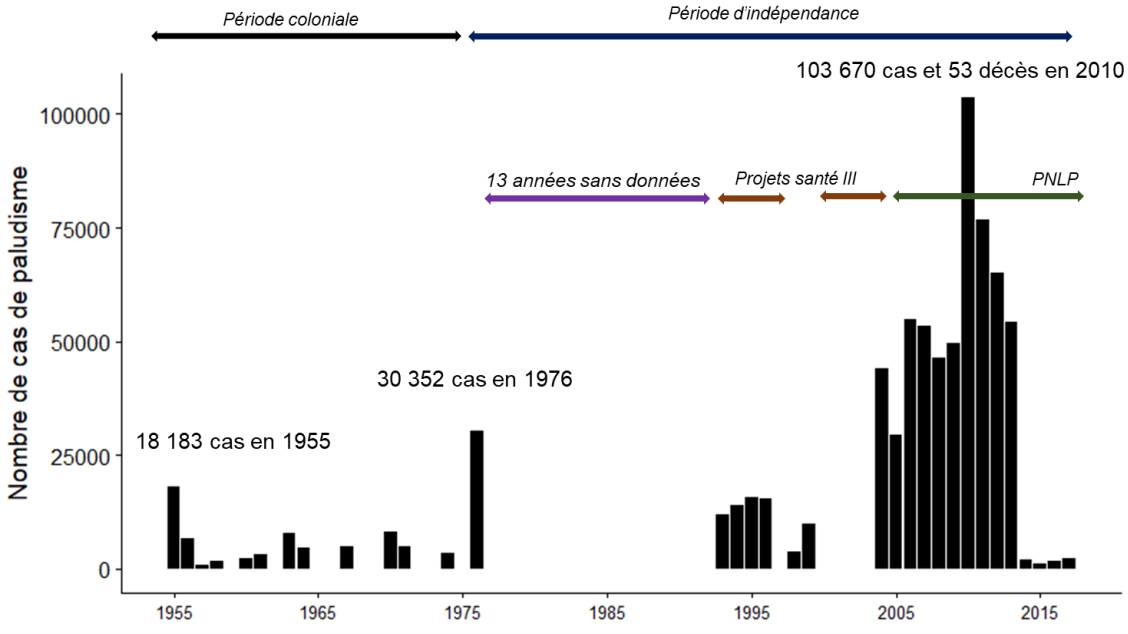


Figure 26 : Evolution des cas de paludisme aux Comores de 1955-2016 (source des données : Rapport paludisme de l'OMS de 1966, 1983, 1999, 2010 et 2017)

L'incidence du paludisme a été donc de 3 025 cas pour 100 000 habitants en 1970 et 9 820 cas en 1976 (Figure 27). C'est une flambée de 57% des cas et 53% de l'incidence du

paludisme en six années. Les mesures de lutte ont été mises en place notamment la pulvérisation intra domiciliaire de DDT-fénitrophion à Anjouan, Mohéli et Mayotte en 1972 et la lutte larvicide au téméphos à Mayotte et en Grande Comore entre 1973-1974 (Ouledi, 1995). En 1975, trois des îles de l'Archipel des Comores accèdent à l'indépendance. Cela marque un tournant dans la gouvernance politique, mais également dans l'engagement de la lutte contre les maladies. Pendant que les autres îles sont en phase de construction de l'État comorien après l'accès à l'indépendance, l'île de Mayotte restée française s'est engagée depuis 1976 dans la lutte contre le paludisme. Un programme de lutte a été mis en place et des actions de lutte ont été menées tel que la lutte anti-vectorielle imagocide intradomicilliaire, la lutte antilarvaire au téméphos, la chimioprophylaxie des femmes enceintes et les dépistages parasitaires passifs (consultation dans les dispensaires) et actifs (application de la méthode QBC-malaria dans des zones ciblées et les dépistages des voyageurs venant par avion). Mayotte est donc alors en avance sur la lutte contre le paludisme par rapport à ses îles sœurs.

Le paludisme de 1977 à 2017 : depuis 1977 à 1992, les données officielles sur le paludisme aux Comores n'étaient pas disponibles dans les rapports de l'OMS (Figure 27). Ayant accédé à l'indépendance en 1975, le jeune État traversait une phase d'instabilité politique marquée par plusieurs coups d'État et des tensions sociales ; en août 1975, le coup d'État d'Ali Soilih sur Abdallah, en mai 1978 le coup d'État de Bob Denard sur Ali Soilih, en novembre 1989 l'assassinat du président Abdallah par Bob Denard. Cette instabilité institutionnelle a nui à la disponibilité des données de santé durant cette période. Toutefois certaines enquêtes sur le paludisme ont été réalisées par des missionnaires étrangers en collaboration avec les services de santé des Comores sur des enfants en milieu scolaire dans l'ensemble des îles depuis les années 1980.

L'étude de Sixty Blanchy de 1999 présente l'évolution de la fréquence parasitaire chez des jeunes âgés de moins de 15 ans entre 1976 et 1987. En onze ans, 13 186 lames ont été lues dont 53% à la Grande Comore, 29% à Anjouan et 18% à Mohéli. La Grande Comore était l'île la plus impaludée avec 42% de lames positives (2888/6933), suivie par Mohéli avec 33%(800/2421) et 20% pour Anjouan (759/3832) (Blanchy *et al.*, 1999). Le *P. falciparum* a été le parasite dominant avec plus de 90% sur l'ensemble des îles. *P. malaria* a été le deuxième parasite dominant avec 9,8% à Anjouan, 7,8% à la Grande Comore et 4,1% à Mohéli. *P. Vivax* ne représentait que 2% à la Grande Comore et moins de 1% sur les autres îles. Cette étude a montré que l'indice plasmodique varie plus en fonction du nombre de

citernes dans les villages à la Grande Comore que par l'influence des caractéristiques des saisons. Ceci est l'inverse sur les autres îles où l'indice plasmodique est plus élevé en saison des pluies qu'en saison sèche (Blanchy et al., 1999). L'étude de Halidi en 1995 a montré l'évolution du paludisme à Mayotte de 1983 à 1994. En 1984, une flambée de paludisme a été observée en 1984 avec 400 cas après calmes où il y avait moins de 200 cas. Cette flambée est liée au passage du cyclone Kamissi en avril 1984 (Halidi, 1995). Cette épidémie a été rapidement maitrisée grâce aux actions de lutte et le nombre de cas est redescendu à moins de 100 cas entre 1985 à 1990. Mais en 1991, une grande épidémie s'est déclenchée avec plus 1700 cas diagnostiqués à Mayotte sur plusieurs villages du sud et du nord. Cette épidémie serait probablement liée aux travaux routiers dans les zones forestières. Depuis, le nombre de cas de paludisme n'est jamais redescendu à moins de 400 cas situation de 1984. Sur les autres îles, de 1977 à 1992, la situation épidémiologique était pire qu'à Mayotte en l'absence d'une stratégie spécifique de lutte contre le paludisme et de suivi des données fiables.

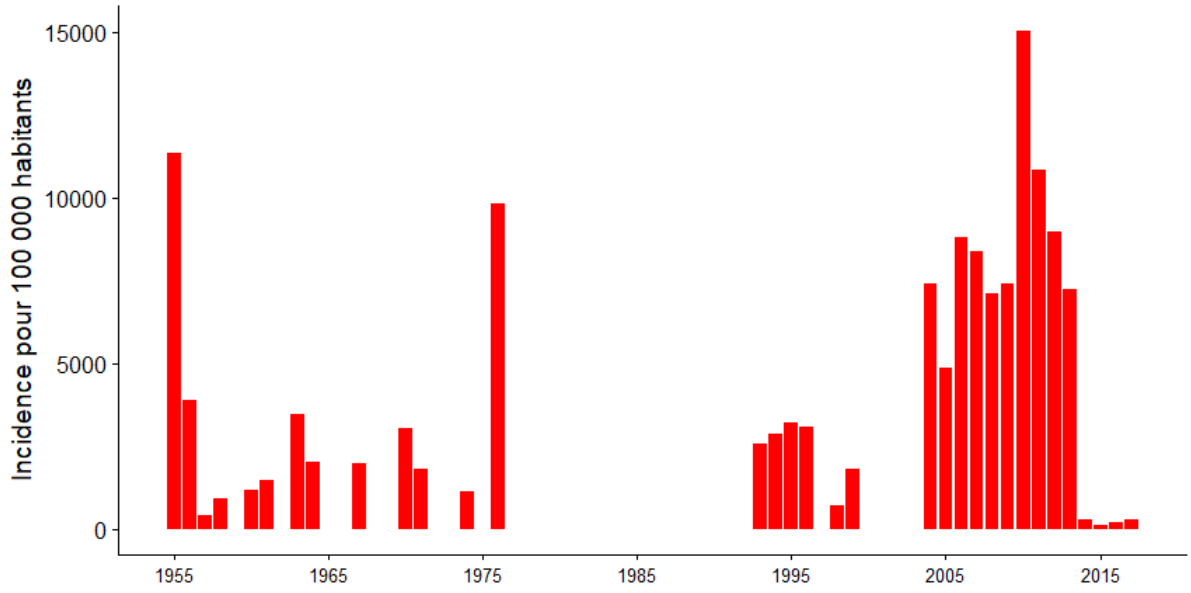


Figure 27 : Incidence du paludisme de 1955-2016 (source des données épidémiologiques : Rapport paludisme de l'OMS de 1966, 1983, 1999, 2010 et 2017, source des données démographiques : recensements de la population de 1958, 1966,1990 et 2003)

Depuis 1993, les données sur le paludisme ont été officiellement disponibles, et ce grâce à la mise en place du Programme de lutte antipaludique en 1987 et surtout l'adoption d'une politique nationale en matière de lutte contre le paludisme et la filariose de Brancfort en 1992. Le système de veille épidémiologique, mis en place en 1993, permet d'avoir les notifications officielles du paludisme depuis les centres de santé de toutes les îles. Ces programmes ont été

soutenus par la banque mondiale à travers l'OMS et le projet de santé III. En 1993, 12 012 cas de paludisme ont été notifiés sur l'ensemble des îles. Ce nombre représente quasiment le tiers des cas de paludisme de 1976. En projetant la population à partir du recensement de 1991, l'incidence du paludisme passe de 2 563 cas pour 100 000 habitants en 1993 à 3 093 cas en 1996 (Figure 27). De 1998 à 1999, on dénombrait moins de 10 000 cas soient une réduction de l'incidence de moitié. Des actions de lutte contre le paludisme ont été réalisées entre la période de 1990-2000. Une campagne de pulvérisation intradomicilliaire à base de malathion 50 CE (1,7 g /m2) a été menée à Anjouan et à Mohéli entre 1991 et 1992 (Ouledi, 2003). Depuis 1993, des moustiquaires et des produits insecticides (K. Othrine) fournis par l'OMS, l'UNICEF et le projet santé III ont été mis à disponibilité de la population comorienne à un prix de 17,24 US$ en 1993, 8,03 US$ en 1999 et 2000 en 2002 (Ouledi, 2003). Cette pratique d'imprégnation n'aurait pas été efficace, car le taux d'imprégnation (nombre de moustiquaires imprégnées d'insecticide par la population) a été de 36% sur l'ensemble des Comores (plus faible à la Grande Comore (20%) et moyen à Mohéli (51%) (Ouledi, 2003). L'achat et l'imprégnation de la moustiquaire ont été à l'origine d'une faible utilisation soit moins de 40% de la population d'Anjouan et de la Grande Comore et 52% à Mohéli. En 2004, le nombre de cas de paludisme a atteint la barre des 40 000. L'incidence du paludisme (basée sur la projection de la population à partir du recensement de 2003) serait de 7 422 cas pour 100 000 habitants. Jusqu'en 2009, l'incidence n'a jamais dépassé plus de 9 000 cas pour 100 000 habitants (Figure 27). En 2010, 103 670 cas de paludisme ont été notifiés sur l'ensemble des îles (soit une incidence de 15 045 cas pour 100 000 habitants). Ceci serait lié à une meilleure investigation des cas sur l'ensemble des îles par le PNLP qui est à partir de cette époque soutenu financièrement par le Fonds mondial de lutte contre le paludisme, le VIH et la tuberculose. D'ailleurs, c'est depuis 2010 que des données mensuelles des cas par île existent. La disposition d'une stratégie nationale de lutte contre le paludisme depuis 2009 à réellement contribué à l'investigation de la maladie. Depuis 2010, le nombre de cas paludisme a diminué progressivement jusqu'en 2017. Cette régression est liée tout d'abord à la gratuité des médicaments, à la distribution gratuite des moustiquaires imprégnées d'insecticides à longue durée d'action, aux campagnes de pulvérisation intradomiciliaire et le traitement de masse à base d'artémisinine. Toutes ces stratégies ont réellement contribué à atteindre un niveau-record très bas de paludisme de 200 cas pour 100 000 habitants en 2015. C'est le niveau le plus bas de paludisme qu'ont connu les trois îles de l'Union des Comores.

1.3.3 La lutte contre le paludisme : un engagement du gouvernement comorien

«L'Union des Comores : un pays sans paludisme»

La mise en place des stratégies et des politiques de lutte contre le paludisme aux Comores date de 1987 où la République fédérale Islamique des Comores avait adopté le programme de lutte antipaludique(Ouledi, 1995). En 1992, le pays avait signé et adopté une politique nationale en matière de lutte contre le paludisme et la filariose de Brancfort. Depuis, il s'est toujours associé aux États Nations pour la lutte contre le paludisme comme son engagement dans l'initiative « Roll back malaria » en 1999. La lutte contre le paludisme s'inscrit dans les objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) que l'Union des Comores a adopté en 2000. La cible 6.C vise à arrêter ou à renverser la tendance de l'incidence du paludisme d'ici 2015 avec, comme indicateurs cibles à atteindre : un taux d'incidence liée au paludisme de 16,5 %, un taux de couverture de 100 % en moustiquaires imprégnées et 100% de traitements antipaludéens chez les enfants de moins de 5 ans[9]. En 2004, les Comores ont bénéficié des Fonds Mondiaux de la lutte contre le VIH, le paludisme et la tuberculose pour mettre en place une stratégie de lutte contre le paludisme. De ce fait, un Plan Stratégique de Lutte Contre le Paludisme a été adopté pour la période 2007-2014[10], pour actualiser celui de 2002-2006, avec comme objectif de réduire le taux de portage de parasites à moins de 5 % de la population. Ce plan a été actualisé en 2011 pour la période 2012-2016 avec comme vision de faire de « l'Union des Comores : un pays sans paludisme » et comme objectif d'atteindre un taux de 1 % de porteurs de parasites du paludisme d'ici 2016. Au-delà de ses plans stratégiques spécifiques, la lutte contre le paludisme figure dans les cibles de la politique nationale de santé (PNS) de 2006-2015 qui est de réduire de 50 % le taux de morbidité et de mortalité lié aux maladies transmissibles d'ici 2015[11]. Cette politique a été revue en 2014 pour la période 2015-2024. Le Plan National de Développement Sanitaire pour la période 2016-2020 envisage une réduction de l'incidence du paludisme à moins de 1 ‰ habitant d'ici 2020. Le cadre politique de la lutte contre le paludisme en Union des Comores est très bien outillé. La mise en œuvre de ces politiques et stratégies de lutte contre le paludisme est sous la responsabilité du Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP).

[9] ODM rapport national, PNUD, 2013. 136pp
[10] Plan stratégique de lutte contre le paludisme, PNLP, Comores, 2009. 33pp
[11] Politique National de Santé 2014-2024, Union des Comores, 2014.28 pp

Organisation du Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP)

Le PNLP est l'organe chargé de mettre en œuvre les stratégies de lutte contre le paludisme sur l'ensemble des îles afin d'atteindre son élimination en Union des Comores (Photographie 8). C'est une structure du ministère de la santé rattachée à la Direction Générale de la Santé. Ses missions principales sont le diagnostic et le traitement des cas de paludisme, mais également d'assurer les actions de prévention, de protection des populations contre la transmission des parasites et la lutte contre les vecteurs du paludisme. Pour parvenir à ses missions, le PNLP s'appuie sur l'ensemble des structures sanitaires des îles, mais également des unités sous la direction générale de la santé. Le PNLP s'organise en trois systèmes[12] :

1- Un système de coordination

La mise œuvre des actions du programme de lutte contre le paludisme sont sous la responsabilité du **coordinateur national** de lutte contre le paludisme. Ce dernier délègue ses responsabilités aux **points focaux** du paludisme qui appartiennent aux Directions Régionales de la Santé de chaque île. À l'échelle des districts, ces sont **les médecins chefs** qui assurent la coordination des activités de lutte dans leurs établissements hospitaliers.

Photographie 8 : Bâtiment du Programme National de Lutte contre le Paludisme, sis la Corniche, Moroni

[12] Le système de surveillance pour l'élimination du paludisme aux Comores, PNLP Comores, 2014. 32 pp

2- Un système de surveillance

Une unité de suivi et d'évaluation du paludisme est chargée de la surveillance épidémiologique du paludisme et du contrôle de la mise en œuvre des activités du PNLP sur l'ensemble des îles. Cette unité est sous la responsabilité d'un épidémiologiste. Elle s'appuie sur le point focal et les médecins chefs pour mettre en œuvre ses activités. Pour une meilleure surveillance, chaque district sanitaire dispose d'un **Agent de Santé de District** (ASD) sous la responsabilité du médecin-chef qui surveille les besoins en matériels pour le diagnostic, le traitement et l'investigation des cas de paludisme. Dans chaque village, **un Agent de Santé Communautaire (ASC)** est chargé de suivre les cas de paludisme dans sa communauté par la réalisation des Tests de Diagnostic Rapide (TDR) et d'informer les responsables du district (Photographie 9). Les ASC assurent également les actions de prévention et de lutte dans leurs villages.

Photographie 9 : Agent de Santé Communautaire en formation au PNLP

3- Un système de diagnostic

Plusieurs laboratoires sont impliqués dans le diagnostic du paludisme. Ils s'organisent en trois niveaux :

- **Le niveau central** : le laboratoire de parasitologie du PNLP et le laboratoire du Centre Hospitalier El-Maarouf sont les référents nationaux qui développent les outils et guident pour le diagnostic et la prise en charge du paludisme. Ils assurent la formation des techniciens microscopistes des autres formations sanitaires publiques. Le laboratoire du PNLP assure les campagnes de dépistage massif et de traitement de masse dans tous les villages.

- **Le niveau intermédiaire** : les laboratoires des Centres Hospitaliers Régionaux (CHR) et les laboratoires des Centres de Santé de District (CSD) assurent aussi le diagnostic et le traitement des cas de paludisme. Ils sont renforcés en équipement (Microscopes et TDR), en médicaments (ACT) et personnels (microscopistes) par le niveau central, notamment le PNLP. Les structures privées sont aussi classées dans ce niveau intermédiaire.

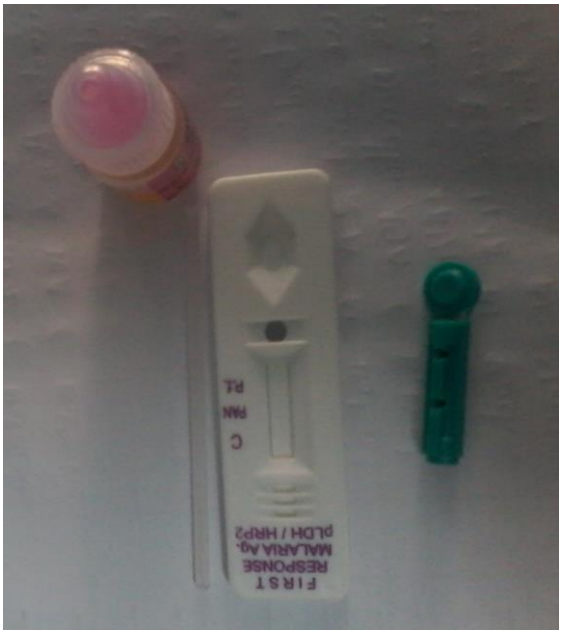
- **Le niveau Périphérique** : les Postes de Santé (PS), grace à un infirmier ou une sage-femme diplômée, assurent le diagnostic des cas de paludisme par TDR. Ils sont aussi appuyés par les ASC.

Ce sont trois systèmes qui composent le système de surveillance pour l'élimination du paludisme aux Comores. Ce système met l'accent sur le diagnostic, le traitement, la prévention et la lutte contre le paludisme.

En se référant à la stratégie mondiale de 2016-2030, le PNLP a élaboré son système de surveillance pour l'élimination du paludisme basé sur le diagnostic, le traitement, la prévention et la lutte.

Le PNLP identifie les cas de paludisme par la détection du *Plasmodium sp.* (trophozoïtes ou gamétocytes) à l'examen microscopique par Goutte Épaisse (GE) ou frottis sanguins ou la positivité du TDR avec ou sans fièvre. Les symptômes cliniques associés au paludisme sont surtout des frissons, des sueurs, des anémies, des troubles digestifs, des splénomégalies et/ou des troubles neurologiques associés ou pas à des fièvres. La manifestation de ces signes

cliniques chez une personne définit un cas suspect de paludisme, qui peut être simple ou grave. Le paludisme grave se distingue du paludisme simple par le dysfonctionnement d'un organe vital comme une défaillance neurologique, une défaillance respiratoire ou une défaillance cardiocirculatoire.



Photographie 10 : Kits de TDR

Photographie 11 : Lecture d'une lame de goutte épaisse par une microscopiste du PNLP

La détection des cas de paludisme se fait selon deux approches :

1- Détection passive

Il s'agit du diagnostic du paludisme chez les patients ayant fréquenté les structures sanitaires. L'ensemble des structures publiques (CHR, CSD, CMU, SSM, PS) et privées ont l'obligation de faire les analyses de TDR et de goutte épaisse chez les patients suspectés de paludisme (Photographie 10 et 11). De ce fait, le PNLP renforce ses structures de soins publics en fournissant les TDR, les équipements microscopiques et les réactifs. Des microscopistes pris en charge par le PNLP peuvent être affectés dans ces structures afin de mieux réaliser les analyses biologiques. Des formations sont faites sur place au personnel de ces structures.

2- Détection active

Il s'agit du diagnostic du paludisme effectué sur la population suspecte ou pas dans leur commune ou leur village. En fonction des situations peuvent être effectués :

- **Une détection réactive :** en réponse à un cas confirmé dans une communauté, les équipes du PNLP ou du district descendent sur le terrain pour dépister toutes les personnes résidant autour de ce cas à moins de 200 mètres. Les cas observés confirmés sont alors immédiatement traités.

- **Une détection proactive** : en réponse à un soupçon de transmission de paludisme dans une communauté à haut risque, les équipes de PNLP choisissent une zone géographiquement limitée pour dépister les personnes volontaires. Tous les cas confirmés sont alors traités sur place.

- **Un dépistage de masse :** en réponse à une transmission persistante du paludisme dans une communauté, le personnel du PNLP réalise un dépistage sur un large échantillonnage de la population afin de détecter le foyer de transmission. Ce sont des échantillons de sang qui seront analysés dans le laboratoire de parasitologie du PNLP. En cas d'analyse positive, les équipes du PNLP viennent effectuer les traitements.

- **Enquête de fièvre :** les ASC mènent des enquêtes dans les maisons de leur commune pour identifier des personnes souffrant de fièvre. Toutes les personnes suspectées vont subir un TDR fait par l'ASC. Un test positif est confirmé par un examen microscopique, et le patient est pris en charge. Une investigation se fait alors autour de la personne malade afin de mieux connaitre la provenance de ce cas.

Une prise en charge thérapeutique adaptée

La prise en charge thérapeutique des cas de paludisme se fait selon les types de cas de paludisme [13]:

1- Le paludisme simple

Le schéma thérapeutique définit par le PNLP pour le traitement du paludisme simple présente deux traitements :

- **Arthémter-luméfantrine (Coartem)** : il s'agit d'un composé de 20 mg d'Artéméther et 120 mg de Luméfantrine (Photographie 12) qui fait partie des Combinaisons à Base d'Artémisinine (Artemisinin-based combinaison therapy ACT). Ce médicament

[13] PNLP Comores, Guide de la prise en charge thérapeutique du paludisme aux Comores, 2016. 24 pp

a pour principe de réduire considérablement le nombre de plasmodies durant une période de trois jours. La posologie du Coartem est dépendante de la masse corporelle du patient :

- Moins de 14kg : deux prises d'un comprimé par jour (matin et soir) durant trois jours,
- 15kg – 25kg : deux prises de deux comprimés par jour (matin et soir) durant trois jours,
- 25kg-34kg : deux prises de trois comprimés par jour (matin et soir) durant trois jours,
- Plus de 34kg : deux prises de quatre comprimés par jour (matin et soir) durant trois jours.

Photographie 12 : Plaquettes de Coartem (Lumartem) pour les enfants et adultes (source : Ibrahim)

- La Primaquine : il s'agit d'un composé de biphosphate qui élimine les gamétocytes de *P. falciparum* chez les adultes. Ce médicament est prescrit pour les plus de un an pour 0,25 mg/kg. Trois produits sont utilisés aux Comores ; primaquine à 5 mg, 7,5 mg et 9 mg. La posologie varie en fonction de l'âge : 3 mg (1-4 ans) ; 5 mg (5-9 ans) ; 10 mg (10-14 ans) et 15 mg (plus de 15 ans).

2- Le paludisme grave

Le schéma thérapeutique de la prise en charge des cas paludisme grave défini par le PNLP comprend de l'artésunate injectable et la quinine injectable. En première intention, c'est l'artésunate qui est utilisée avec 2,4 mg/kg de masse corporel par la voie intraveineuse ou intramusculaire. Il est renouvelé après 12 heures, 24 heures et tous les jours sans dépasser 7 jours. La quinine est utilisée en deuxième intention avec une première dose de 20 mg/kg de masse corporelle en perfusion continue pendant 4 heures et une deuxième dose 10 mg/kg toutes les 8 heures en perfusion lente.

3- Le paludisme chez la femme enceinte

La quinine en comprimée est utilisée chez les femmes enceintes durant toute la période de grossesse avec une posologie de 8 mg/kg pour le traitement du paludisme. Au deuxième et au troisième trimestre, il est aussi possible d'utiliser le coartem. Pour la prévention contre le paludisme chez les femmes enceintes, elles prennent la sulfadoxine 500 mg-pyriméthamines 25 mg (SP) pendant le deuxième trimestre avec une dose de trois comprimées et la dernière dose est prise à la 35ème semaine (Photographie 13). Une résistance de *Plasmodium falciparum* à la Sulfadoxine-Pyrimethamine a été observée aux Comores(Rebaudet et al., 2010 ; Silai et al., 2007 ; Papa Mze et al., 2015). Toutefois, l'OMS recommande son utilisation dans les pays à moyen ou forte transmission du paludisme[14].

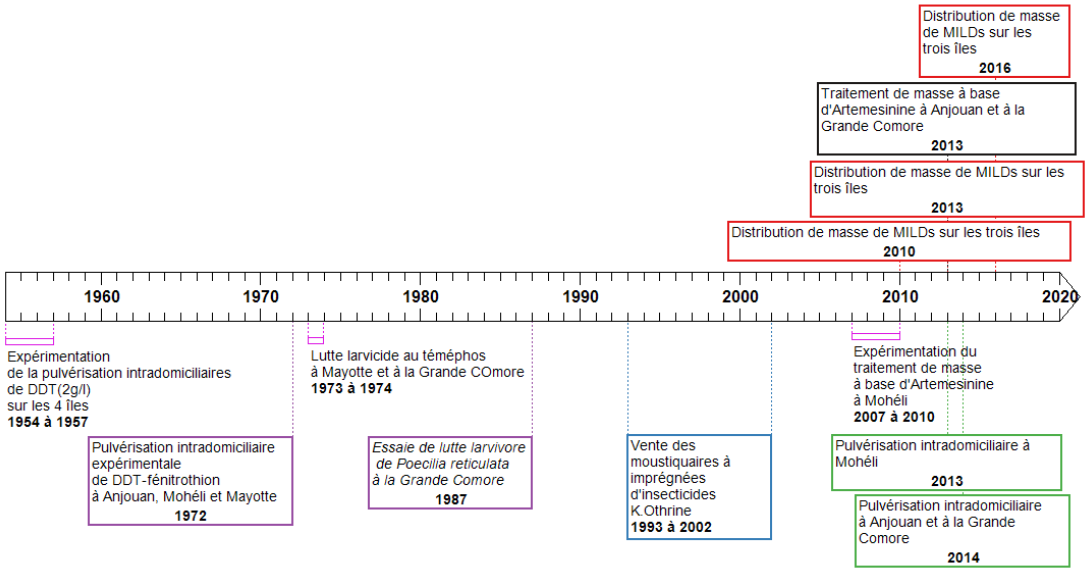
Photographie 13 : Boite de sulfadoxine & pyriemethamine pour le traitement des femmes enceintes (source : Ibrahim)

Intensification des actions de lutte et de prévention contre le paludisme

Plusieurs actions de lutte ont été menées depuis 1954 sur les îles de l'Archipel des Comores (Photographie 14). La pulvérisation intradomicilaire d'insecticide à base de Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) a été la première expérience d'action de lutte anti-vectorielle réalisée aux Comores entre 1954 et 1957. Le DDT-fénitrothion a été également expérimenté en 1972 à Anjouan, Mohéli et Mayotte. La PID a pour but de réduire la densité des vecteurs du paludisme dans les ménages et ainsi éviter le contact entre le vecteur et les personnes. Le produit est aspergé sur les surfaces solides (murs, plafonds et fenêtres) du ménage où les vecteurs peuvent se poser avant d'entrer en contact avec son hôte. Depuis ces expérimentations des années 1950 et 1970, la pulvérisation est restée une action phare de la lutte contre le paludisme jusqu'à aujourd'hui. Ces dernières années, le PNLP a intensifié ces campagnes d'aspersion intradomicliaire (2010, 2012, 2013, 2014 et 2015). Il y a eu en moyenne une campagne par année. L'insecticide utilisé par le PNLP pour les dernières campagnes est Lambda-cyhalothrine, un produit recommandé par l'OMS. C'est un insecticide de la famille des pyréthrinoïdes qui agit par contact et ingestion dans l'estomac du vecteur. La dose recommandée par l'OMS est de 0.02-0.03[15] (g PA/m^2). De ce fait, l'équipe de lutte

[14] http://www.who.int/malaria/iptp_sp_updated_policy_recommendation_en_102012.pdf
[15] Entomologie du paludisme et lutte antivectorielle, Guide du participant, OMS, 2014.

antivectorielle du PNLP dilue 1 sachet de 20 mg dans 8 litre d'eau[16]. Il utilise des pulvérisateurs à pression de type Hudson X-pert pour l'aspersion des surfaces (Photographie 15). Le Lambda-cyhalothrine a une durée d'action de 3 à 6 mois[7].



Photographie 14 : Historique des actions de lutte contre le paludisme dans l'Archipel des Comores entre 1954-2017

Photographie 15 : Formation des agents de terrain pour pulvérisation intradomiciliaire de 2014 (source : Ali Toilibou)

[16] Rapport de la campagne AID/PID de Mohéli en 2013, Ministère de la santé, PNLP, Comores, 2013.

La distribution de moustiquaires imprégnées d'insecticide est l'une des actions de lutte contre le paludisme préconisée par l'OMS. Ces moustiquaires ont un effet répulsif et létal sur les moustiques qui entrent en contact avec la toile. Entre 1993 et 2002, des moustiquaires avec un insecticide K.Othrine ont été mises à disposition de la population comorienne moyennant une petite somme d'argent. Depuis 2010, les moustiquaires sont distribuées gratuitement et massivement à l'ensemble de la population comorienne dans leur localité (Photographie 16). Cette campagne de distribution de masse est réalisée tous les 3 ans (2010,2013 et 2016). Les moustiquaires distribuées durant ces dernières campagnes sont de la marque Olyste Net recommandée par l'OMS[17]. L'insecticide intégré dans les moustiquaires d'Olyste Net est la perméthrine, un produit de la même famille que les insecticides utilisés dans la pulvérisation intradomiciliaire (pyréthrinoïdes), mais avec une durée d'action de 2-3 ans, d'où le besoin de renouvellement des moustiquaires tous les 3 ans. Les habitants ont été nombreux à venir récupérer les moustiquaires.

Photographie 16 : Distribution des moustiquaires à la population dans le village de Chandra (Anjouan) durant la campagne de 2016

Un programme d'élimination rapide du paludisme par l'éradication du réservoir parasitaire (traitement de masse) a été réalisé à Mohéli entre 2007 et 2009 par une équipe de l'Université de médecine chinoise de Guangzhou avec l'accord des autorités comoriennes et l'appui du PNLP (Photographie 17). L'objet de ce programme était d'éliminer rapidement le réservoir d'infection chez les humains et ainsi arrêter la chaine du cycle de transmission du paludisme. De ce fait, toute personne résidente ou en transit (malade ou pas) sur l'île de Mohéli devrait impérativement prendre l'Artequick (artemisinine+pipéraquine) et la primaquine. Ces médicaments ont été administré sous forme de comprimé avec 62,5 mg d'artemisinine + 375 mg de pipéraquine pour un comprimé d'Artequick et 9 mg pour un comprimé de primaquine

[17] Entomologie du paludisme et lutte antivectorielle, Guide du participant OMS, 2014.

(Li *et al*., 2010). Un adulte prenait quatre comprimés d'Artequick à raison de deux comprimés par jour et un comprimé de primaquine le premier jour (Li *et al*., 2010). Les enfants prenaient un artequick granulé et de la primaquine en fonction de leur poids (Li *et al*., 2010). La prise de ces médicaments se faisait durant des campagnes de traitement de masse de la population par localité. La réalisation de ce traitement à Mohéli a montré une diminution de la prévalence parasitaire chez les enfants de moins de 5 ans de 96,3% (Deng *et al., 2014)*. Ces résultats concluants ont permis l'élargissement de cette campagne sur les autres îles. Cela s'est fait en 2012 à Anjouan et en 2013 à la Grande Comore et certaines localités d'Anjouan qui n'avaient pas bénéficié de la campagne de 2012.

Photographie 17 : Prise des médicaments (Artequick) pendant les campagnes de traitement de masse à Mohéli. (source : (Deng *et al*., 2014))

Il a été souligné qu'aucune étude n'a été faite aux Comores pour évaluer les effets sécondaires de ce traitement de masse (Toyb et al., 2016). Selon la même équipe, aucun effet indisirable majeur n'a été signalé durant la campagne de traitement de masse au Cambodge (Song et al., 2010). Ce traitement de masse à base d'artemisine a développé une forme de résistance des parasites de *Plasmodium faciliparum* au Cambodge et d'autres pays de l'Asie du sud (Ariey et al., 2014 ; Noedl et al., 2008 ; Phyo et al., 2012 ; Ashley et al., 2014). Toutefois, une récente étude sur la résistance du *Plasmodium falciparium* à l'artemisinin confirme qu' aucune forme de mutation observé dans les pays d'Asie du Sud n'a été identifiée aux Comores (Huang et al., 2015b).

Une lutte dépendante des financements internationaux

De 2008 à 2016, plus de onze millions de dollars américains (11 823 663 $ US) ont été financés pour la lutte contre le paludisme aux Comores (Figure 28) par le Fonds mondial (83,7 %), l'OMS (8,7 %), le gouvernement comorien (5,9 %), l'UNICEF (1,2 %) et d'autres ressources (0,5 %)[18]. En 2010, plus de 4,5 millions US $ ont été débloqués, soit 11 fois le budget de 2009. Ils ont été uniquement financés par le Fonds mondial (97,8 %) et l'OMS (2,2 %). Ce financement de 2010 a permis une meilleure investigation de la maladie car, pour la première fois, plus de 100 000 cas de paludisme ont été enregistrés par le PNLP. Malheureusement, depuis 2010, le financement de la lutte contre le paludisme n'a cessé d'être réduit à moins d'un million par an soit une diminution de -64 % en 2011, -90 % en 2012 et -74 % en 2013. Cette baisse considérable est d'autant plus marquée par la réduction du financement du Fonds Mondial passant de 4,6 millions US $ en 2010 à 773 425 US$ en 2011 (-71 %) et à 499 000 en 2013 (-80 %). Le mandat de financement de la stratégie de lutte contre le paludisme est généralement de 3 ans. La nouvelle-stratégie de 2014-2016 a débuté avec un montant de 1 467 869 US$ (+36 % en vue de 2013) et a fini avec 2 344 470 US$ (+55 % en vue de 2016). Le gouvernement comorien met à disposition un budget moyen de 114 769 US$ par an pour la lutte contre le paludisme (Figure 28). Ce budget ne dépasse généralement pas les 200 000 US$ sauf en 2012 où 225 621 US$ ont été mis à disposition du PNLP. Selon l'OMS, le budget du gouvernement comorien n'est généralement pas dépensé. La majorité de ces fonds sont dépensés dans les actions de prévention notamment l'achat des MILDs et des produits pour la pulvérisation intradomiciliaire. Ceci laisse à penser que la gestion des fonds disponible n'est pas suffisamment efficiante.

[18] Données issues des rapports mondiaux sur paludisme de l'OMS de 2010, 2013 et 2017.

Figure 28 : Fonds et bailleurs de la lutte contre le paludisme aux Comores (source des données : Rapport mondial du paludisme de 2010, 2013 et 2017)

Chapitre 2 : Épidémiologie spatiale du paludisme en Union des Comores

2.1 Introduction

L'épidémiologie du paludisme aux Comores a été décrite dès les années 1980 (Blanchy 1987, 1999 ; Julvez 1988, 1990, Sabatinelli 1991 et Oulédi 1995, 2003). Ces travaux ont également abordé d'autres aspects du paludisme : l'entomologie, la parasitologie, les faciès de la transmission, les déterminants écologiques, anthropologiques et climatiques de sa transmission et la lutte antipaludique. Bien que ce soit des études très descriptives, elles ont bien démontré qu'il existe une variation spatiale (intra- et inter-île) et une variation temporelle (intersaisons) du paludisme. Elles montrent en outre que la présence des citernes dans les ménages a été un facteur déterminant dans le maintien d'une endémicité très élevé du paludisme à la Grande Comore alors que le réseau hydrographique et les milieux marécageux ont été des facteurs importants à Anjouan et à Mohéli. Les versants les plus arrosés ont été les plus impaludés sur chaque île. Le paludisme a toujours été plus élevé en saison des pluies qu'en saison sèche. Toutefois, les actions de lutte antipaludiques expérimentées durant les années 1980 et 1990 ont bien démontré leurs influences sur le changement du niveau de la transmission épidémiologique.

Depuis 2010, des moyens financiers très importants ont été mis à disposition du PNLP en vue d'éliminer le paludisme aux Comores à l'horizon 2016. Cela a permis une meilleure connaissance de la maladie sur l'ensemble des îles et de réduire considérablement son incidence, notamment par la distribution de masse de moustiquaires imprégnées d'insecticide, la pulvérisation intradomiciliaire et le traitement de masse. Par conséquent, une nouvelle tendance de l'épidémiologie du paludisme serait observée ces dernières années.

La description spatiale du paludisme aux Comores restait jusqu'ici limitée à l'échelle des îles, ce qui a permis de comprendre les disparités interîles. Nous l'avons vu, depuis 2009, le Ministère de la Santé a défini une nouvelle cartographie de la santé en subdivisant les îles en districts sanitaires. Cette échelle de récolte des données nous a permis de construire une première base de données épidémiologiques du paludisme en Union des Comores. Cette base de données a été complétée par des informations géographiques afin de pouvoir cartographier et d'analyser spatialement l'épidémiologie du paludisme et la couverture des actions de lutte à différentes échelles. Ces connaissances sont indispensables pour adapter les stratégies de l'élimination du paludisme (Breman et Brandling-Bennett, 2011).

Ce chapitre vise à décrire l'épidémiologie du paludisme de 2010 à 2017 en utilisant les méthodes d'analyse spatiale et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) à l'échelle des structures de soins et des districts sanitaires. À travers ces représentations, nous avons cherché à expliquer l'évolution de la situation épidémiologique en fonction des actions de lutte contre le paludisme.

En premier lieu, nous avons mis en place une base de données épidémiologique et démographique à différentes échelles : les structures de soins, les districts sanitaires et les villages. Plusieurs jeux de données ont été harmonisés et sauvegardés dans cette base notamment les cas de paludisme, les données cliniques, les données des actions de lutte et les données démographiques.

En deuxième lieu, nous avons décrit le paludisme simple et grave, diagnostiqué au niveau des centres de soins publics. Nous avons détaillé l'analyse chez les enfants de moins de 5 ans et les femmes enceintes. Par la suite, nous avons cherché les éléments attestant d'une amélioration du diagnostic, du traitement et de la prévention dans les structures de soins de l'ensemble des trois îles et leurs impacts dans l'évolution de la situation épidémiologique.

En dernier lieu, nous avons cartographié, à l'échelle des districts sanitaires sur l'ensemble des îles, l'incidence du paludisme et les actions de lutte réalisées en 2013, notamment la distribution des MILDs et le traitement de masse. Nous avons réalisé des analyses spatiales et statistiques pour expliquer l'impact des actions de lutte.

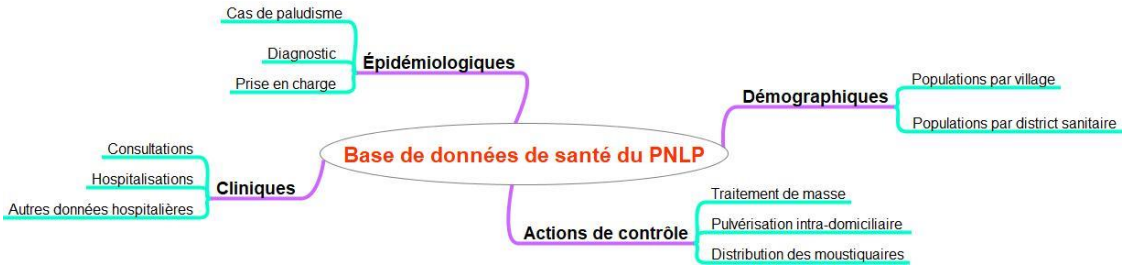
2.2 Méthodologies

2.2.1 Mise en place d'une base de données épidémiologique et démographique

Les données épidémiologiques du paludisme fournies par le PNLP n'avaient pas été systématiquement standardisées et uniformisées. On pouvait retrouver certaines données dans des formats numériques (les cas de paludisme saisis sous Excel, les bulletins épidémiologiques annuels stockés en format PDF) et d'autres en format papier (données des contrôles actifs sur le terrain et des campagnes de masse). Ces données mensuelles et annuelles ont été agrégées, soit à l'échelle des districts sanitaires soit à l'échelle des structures des soins ou à l'échelle des villages. Dans cette phase d'inventaire ont été observées des erreurs de syntaxe des noms des districts sanitaires, des structures de soins et des villages d'un

document à un autre. Plusieurs données manquantes ont été relevées d'une année sur l'autre. Dans une perspective d'harmoniser les jeux de données en vue de leur future intégration dans une base d'information géographique, les outils PostgreSQL et PostGIS ont été utilisés. La mise en place de la base de données a été réalisée en différentes étapes :

- ✓ **Collecte et bancarisation des données** : toutes les données existantes ont été collectées, quels que soient leurs formats d'origine. Il s'agit des données épidémiologiques, démographiques, cliniques, entomologiques et des données sur les actions de lutte (Photographie 18). Les données en format numérique ont été uniformisées dans un format Excel. Les données en format papier ont été saisies comme les données de suivi de routines dans les villages de la Grande Comore entre 2011 et 2013.



Photographie 18 : Schéma de la base de données de santé des Comores

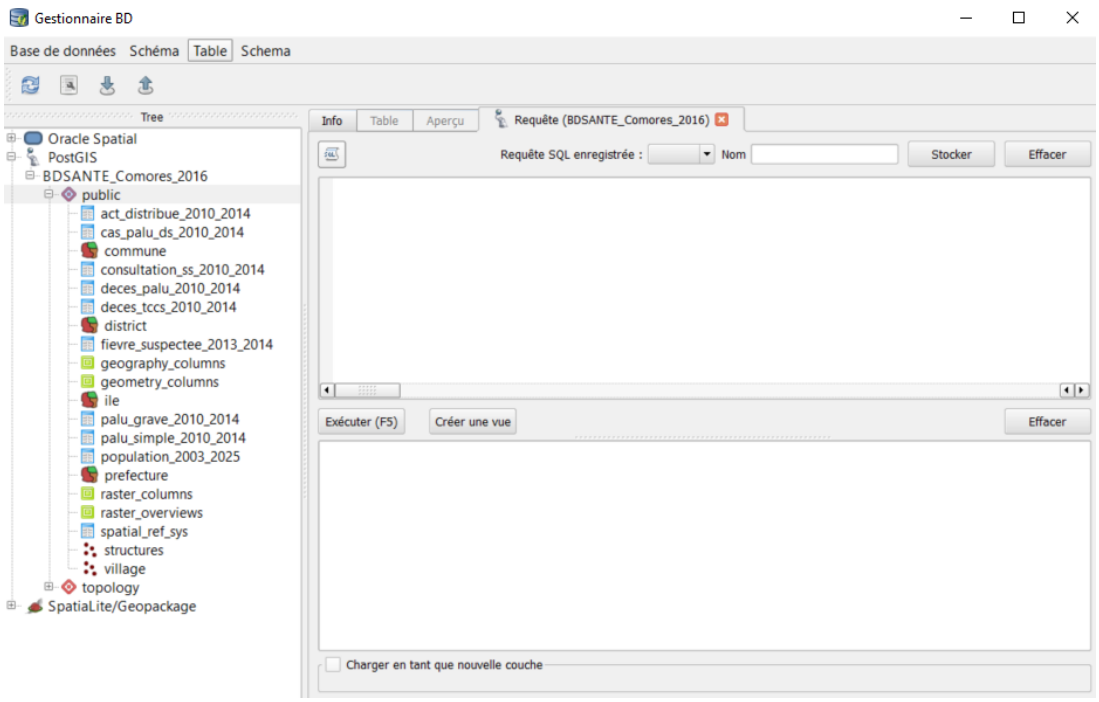
- ✓ **Nettoyage et organisation des données** : Nous avons harmonisé la syntaxe des noms des unités administratives et sanitaires. En effet, une même unité peut avoir différentes écritures selon les sources (voir la ville de Mitsamiouli sur la photographie 19). Nous nous sommes basés sur la cartographie sanitaire des Comores de 2009 pour harmoniser la syntaxe des noms de ces unités. Nous avons par la suite défini des identifiants pour chaque unité :

Photographie 19 : Jeu des noms des villes et villages des Comores

  - unités administratives : îles (d'ouest en est, la Grande Comore (1), Mohéli (2) et Anjouan (3)), préfectures, communes, ville et village (Voir Annexe).
  - unités sanitaires : îles, districts sanitaires et structures de santé.

- ✓ **Définition du dictionnaire de données :** Toutes les variables des différentes données ont été abrégées pour faciliter la manipulation des données. Un dictionnaire de données a été élaboré afin de permettre une meilleure lecture de ces variables (voir annexe).
- ✓ **Création de la base de données PostgreSQL et PostGIS :** en utilisant le logiciel PostgreSQL version 9.5 (Copyright © 1996-2018 The PostgreSQL global développement groupe, www.postgresql.org), nous avons mis en place la base des données après avoir défini les diagrammes du modèle logique et physique des données. De cette base Postgre, nous avons créé une base de données PostGIS sous le logiciel QGIS.2.14 (Photographie 20).

Cette base de données est d'intérêt capital pour le PNLP. Elle permet d'avoir des données fiables, uniformisées et harmonisées. Ces données sont ainsi bien sauvegardées et peuvent facilement être réutilisées par d'autres personnes. Elle pourrait être facilement connectée à un serveur afin de créer un catalogue de données de santé accessible par une interface web.



Photographie 20 : Visulation de la base de données santé des Comores sur QGIS

2.2.2 Échelles d'étude et sources des données

La description de l'épidémiologie du paludisme est faite à l'échelle des structures de soins et des districts sanitaires. Ces échelles sont présentées dans l'organisation de l'offre de soins de l'Union des Comores (Cf 1.2.2).

Le PNLP a fourni les données mensuelles des cas de paludisme notifiés à l'échelle des structures des soins et des districts sanitaires par île entre 2010 et 2017. Tous les cas de paludisme diagnostiqués dans les centres de santé de district ou dans les postes de santé des villages sont signalés au PNLP. En outre, le PNLP a mis en place un suivi plus actif au niveau des villages. Dans chaque village, un agent de santé communautaire effectue un Test de Diagnostic Rapide (TDR) sur les personnes souffrant de fièvre. Si ce test est positif, un agent de santé de district se rend à moto au village pour prélever un échantillon de sang sur le patient afin de confirmer le cas. Si le diagnostic est confirmé, il signale le cas au PNLP en envoyant un message (SMS). Enfin, les patients qui ont visité un centre de santé privé sont invités à se rendre au PNLP pour obtenir des médicaments gratuits, ce qui permet de compléter l'enregistrement des cas.

Nous avons aussi collecté les données de diagnostic, de la prise en charge, du traitement, de la prévention et des actions de lutte pour mettre évidence des liens probables entre l'évolution de la situation du paludisme et ces actions. Ainsi, les données sur le nombre de MILDs distribuées en 2013 et en 2016 et le nombre d'individus ayant pris le traitement de masse en 2013 ont été enregistrés à l'échelle des districts sanitaires.

- ✓ **Données démographiques**

L'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques (INSEED) a fourni les données démographiques issues de la projection de la population de 2003. Ces données sont projetées jusqu'en 2025 et ce sont les références nationales en attendant les résultats du recensement de la population de 2017. Nous avons calculé les données démographiques des districts sanitaires à partir des données démographiques des îles et des villages.

- ✓ **Données météorologiques**

L'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie de l'Union des Comores (ANACM) a fourni les données pluviométriques mensuelles de 2010 à 2016 (cf 1.1.2). Ces

données concernent essentiellement les stations météorologiques des aéroports (Hahaya, Moroni Itsambouni, Ouani et Bandar-es-Salam).

2.2.3 Cartographies et analyses statistiques

2.2.3.1 Cartographies de la prévalence, de l'incidence du paludisme et des actions de lutte

- ✓ **Cartographies de la prévalence et de l'incidence du paludisme**

Nous avons utilisé le logiciel de SIG QGIS pour cartographier la prévalence du paludisme à l'échelle des structures de soins publics et l'incidence à l'échelle des districts sanitaires entre 2010 et 2017. La prévalence du paludisme a été calculée en faisant le rapport entre les cas de paludisme (toutes catégories confondues) et le nombre de consultations par structure de santé. Le nombre d'habitants par district sanitaire a été le dénominateur pour le calcul de l'incidence. La prévalence a été multipliée par 1 000 patients et par 100 000 habitants pour l'incidence. Ces multiplicateurs sont très souvent utilisés dans les rapports mondiaux du paludisme et permettent d'observer les unités spatiales avec des faibles valeurs. Une méthode de discrétisation par progression arithmétique est appliquée pour la cartographie de la prévalence et de l'incidence (Rican, 1999).

- ✓ **Cartographie des actions de lutte contre le paludisme**

La cartographie des différentes actions de lutte contre le paludisme en 2013 est réalisée à l'échelle des districts sanitaires. Le taux de couverture en MILDs a été calculé en utilisant une valeur de référence définie par le PNLP qui est d'une moustiquaire pour 1,8 personne. Le taux de couverture du traitement de masse dans la population de chaque district sanitaire a été calculé à Anjouan et à la Grande Comore. Une méthode de discrétisation par les quantiles (Rican, 1999) a été appliquée pour l'élaboration de la cartographie de la couverture en MILDs et du traitement de masse.

2.2.3.2 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 3.2.5 (R. Core, 2017). L'environnement R-Studio a été utilisé pour faciliter l'utilisation du langage R (Racine, 2012).

- ✓ **Evaluation du diagnostic, du traitement des cas simples et de la prévention chez les femmes enceintes.**

La proportion de cas de paludisme confirmés par les deux tests (TDR et GE) a été calculée selon les différents types de structures et les îles à partir de 2013, afin de comprendre l'évolution du diagnostic du paludisme durant les années entre les îles. La proportion du nombre de cas de paludisme traité par l'Arthéméther-luminfantrine (Coartem) selon les structures de soins et les îles de 2013 à 2017 a permis d'évaluer la prise en charge des cas simples du paludisme au cours des années. La proportion des femmes enceintes ayant pris les doses de Sulfadoxine a été calculée selon les structures de soins et les îles de 2013 à 2017. Il en est de même pour la proportion de femmes enceintes ayant reçu une moustiquaire imprégnée d'insecticide. Ces rapports ont permis de mesurer l'évolution de la prévention du paludisme chez les femmes enceintes.

- ✓ **Analyses de la corrélation entre l'incidence et les actions de lutte**

Un test de variance a été utilisé pour montrer l'existence d'une différence de l'incidence du paludisme entre les saisons. Ce test est aussi appliqué pour comparer le niveau de diagnostic, de traitement des cas simples et de la prise du Sulfadoxine entre les types de structures de soins et les îles. Une différence est significative si la valeur de probabilité est inférieure à 0,05 (O'brien, 1981 ; Shapiro, Wilk, 1965). Une analyse de corrélation a été appliquée pour trouver les relations entre les actions de lutte et l'incidence du paludisme (Foucart, 2006). Ensuite, nous avons effectué une régression linéaire pour évaluer si l'incidence du paludisme peut être modélisée à partir des actions de lutte (McCullagh, 1984).

2.3 Résultats

2.3.1 Prévalence du paludisme en milieu hospitalier

Entre 2010 et 2017, la majorité des cas de paludisme a été des cas simples sur l'ensemble des îles (Figure 29). En 2010, plus de 327 patients sur 1 000 consultations dans l'ensemble des structures de soins ont contracté le paludisme à la Grande Comore contre 148 à Anjouan. Les cas graves ne représentent que 39 % à la Grande Comore et 35 % à Anjouan. Jusqu'en 2013, la prévalence des cas simples reste pratiquement deux fois supérieure à la prévalence des cas graves sur ces deux dernières îles. La prévalence des cas graves a toujours été plus élevée à la Grande Comore (plus de 69 cas sur 1 000 patients) et d'autant plus faible sur l'île de Mohéli

(moins de 5 cas sur 1 000 patients) entre 2011 et 2013. Le traitement de masse de paludisme à base d'Artequick serait à l'origine d'une baisse importante des cas de paludisme à Mohéli, mais surtout des cas graves. Après la réalisation du traitement de masse à la Grande Comore en 2013, nous observons moins de 7 cas graves sur 1 000 patients sur l'ensemble des structures de soins entre 2014 et 2017 (Figure 30).

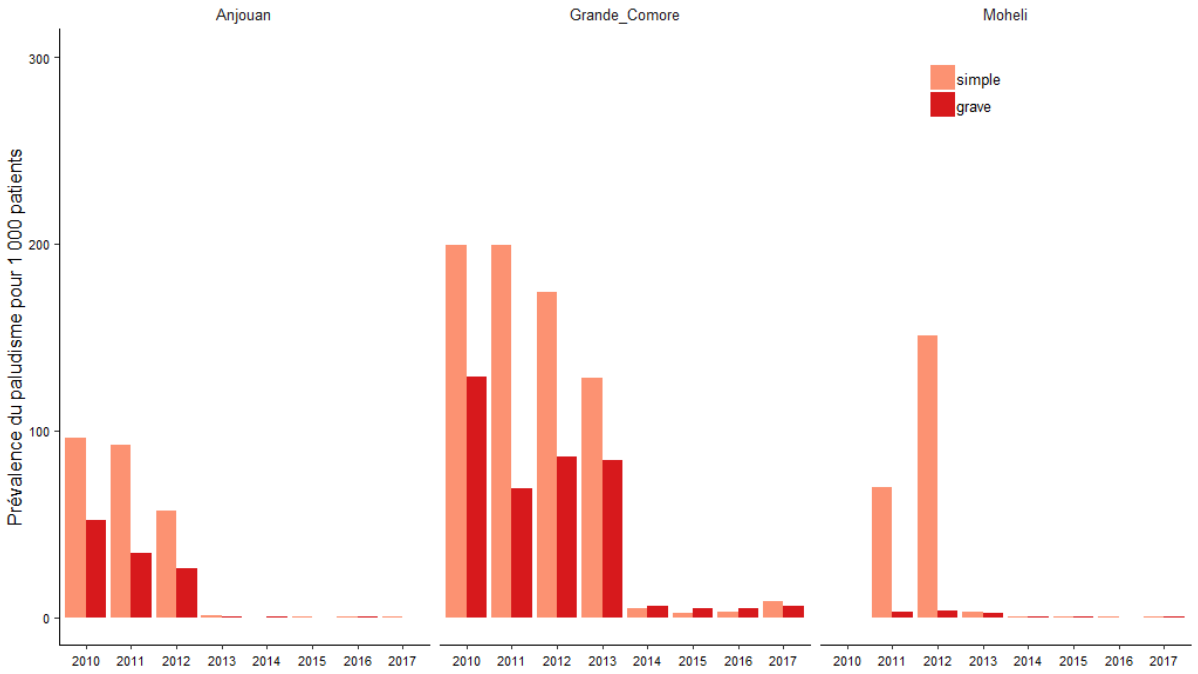


Figure 29 : Evolution de la prévalence des cas simples et graves du paludisme de l'ensemble des structures par île de 2010-2017

Tout comme les autres pays d'Afrique, les enfants de moins de 5 ans ont porté le fardeau du paludisme en Union des Comores. Sur 1 000 consultations d'enfants de moins de 5 ans dans l'ensemble des structures de soins, 484 enfants à la Grande Comore et 382 enfants à Anjouan ont contracté le paludisme en 2010 (Figure 31). Ces chiffres sont d'autant plus importants, qu'ils représentent respectivement de deux à six fois plus des cas de paludisme chez les patients de plus de 5 ans. Jusqu'en 2013, le nombre de cas paludisme reste largement supérieur chez les moins de 5 ans (Figure 30). La prévalence des cas de paludisme chez les enfants de moins 5 ans est d'autant plus élevée (plus 750 cas sur 1 000 enfants) dans les structures des soins où il y a moins de 2 000 consultations (PS) (Figure 31, 33). Ceci montre une morbidité du paludisme, chez les enfants de moins de 5 ans, plus importante en zone

rurale qu'en zone urbaine. La prévalence des patients de plus de 5 ans varie entre 107 à 357 cas pour 1000 patients sur la majorité des structures de soins (Figure 32). À Anjouan, la majorité des cas notifiés des patients de plus de 5 ans provient des structures de soins où le nombre de consultations dépasse 6 000 patients (CHR et CSD) (Figure 32 et 34).

Figure 30 : Evolution de la prévalence du paludisme par catégorie de patients dans l'ensemble des structures de soins publics par île de 2010-2017

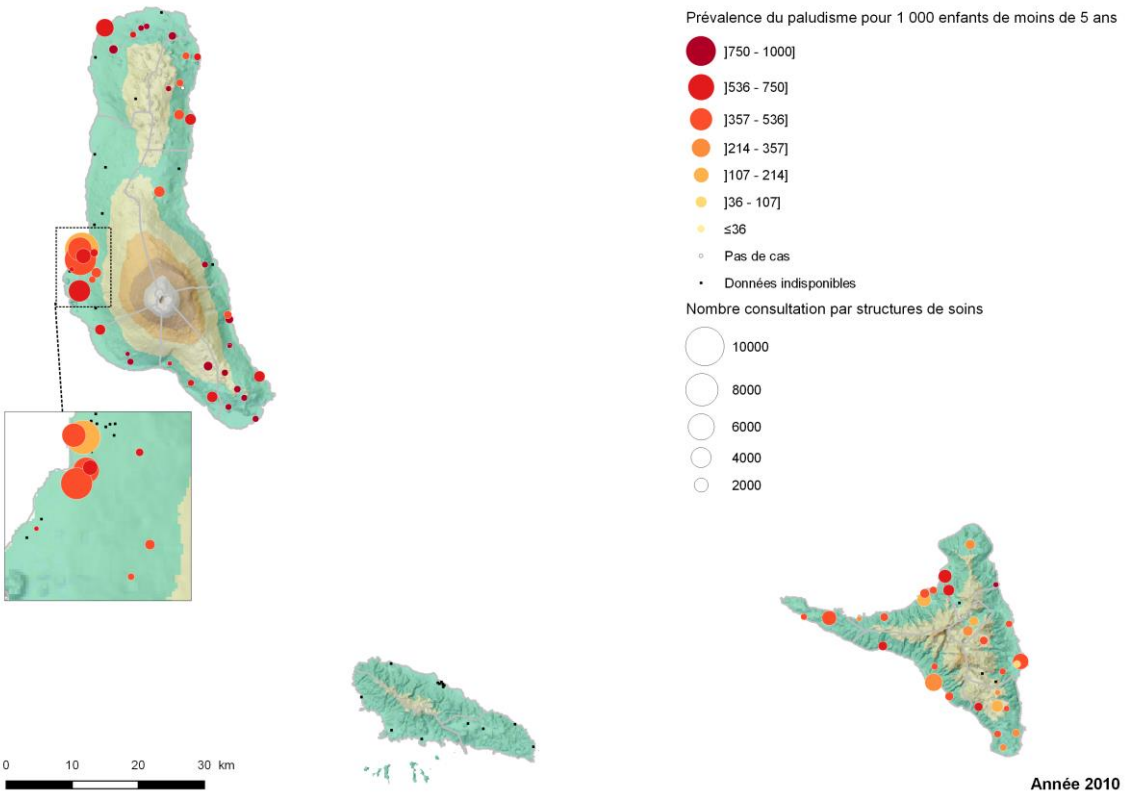


Figure 31 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les enfants de moins de 5 ans en 2010

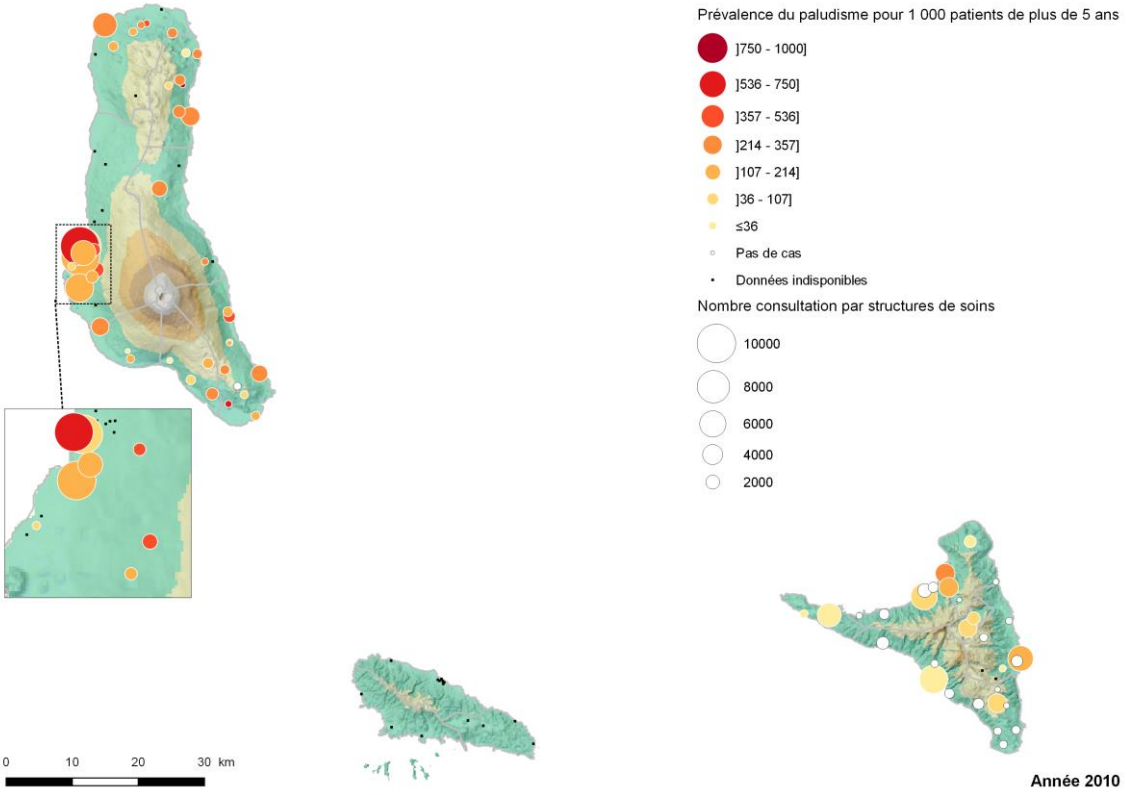


Figure 32 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les patients de plus de 5 ans en 2010

Le recul du paludisme, à partir de 2014, s'est fait sur toutes les catégories de patients (Figure 30). Et, cela s'observe même sur les différentes structures de soins où la prévalence du paludisme est inférieure à 36 cas pour 1 000 patients (Figure 35 et 36). Ceci traduit une baisse importante de la morbidité du paludisme en milieu hospitalier. L'augmentation du paludisme à la Grande Comore, en 2017, s'observe davantage chez les patients de plus de 5 ans (Figure 30).

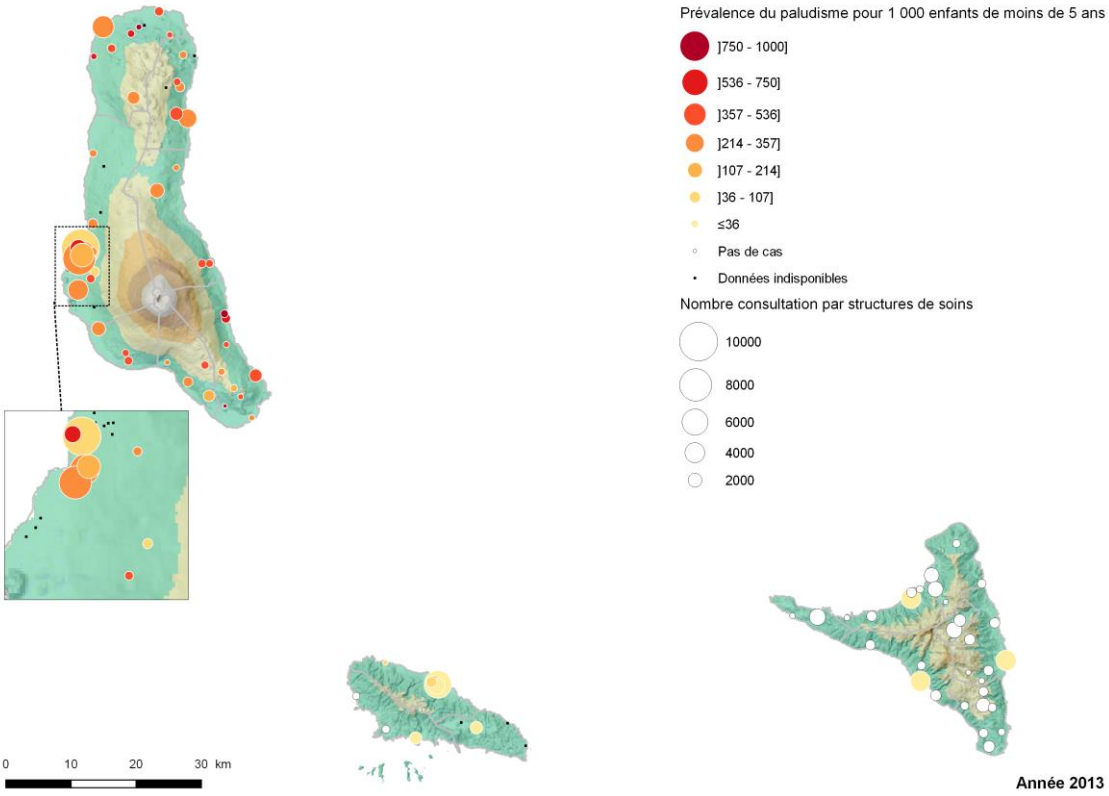


Figure 33 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les enfants de moins de 5 ans en 2013.

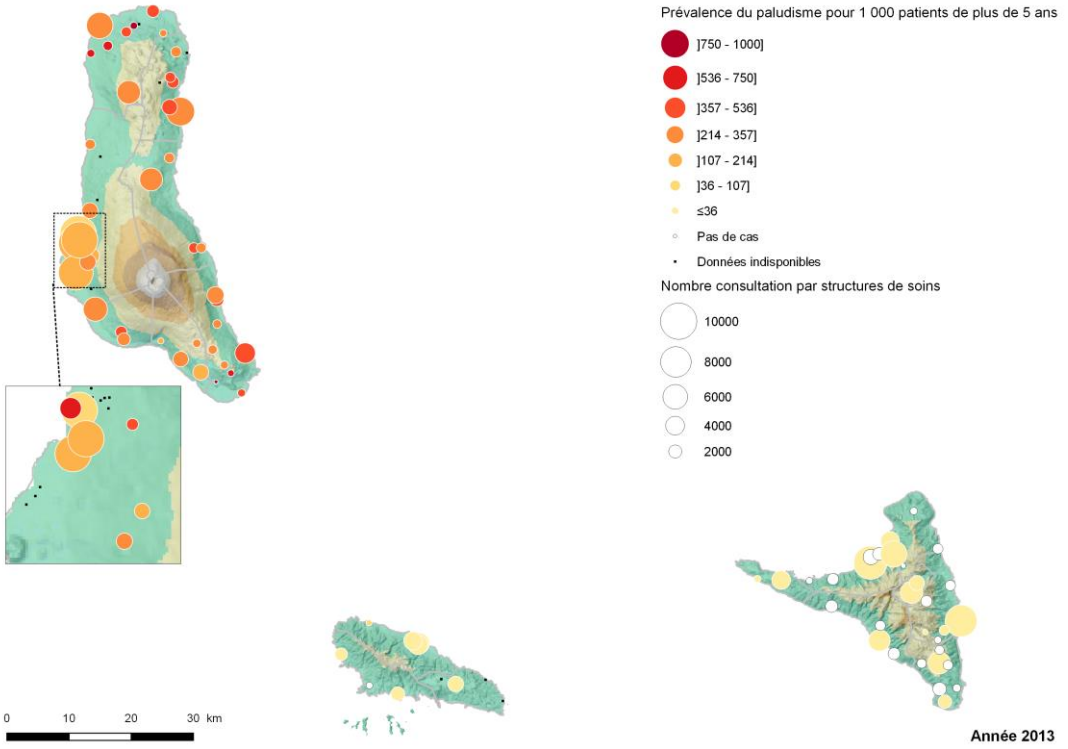


Figure 34 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les patients de plus de 5 ans en 2013

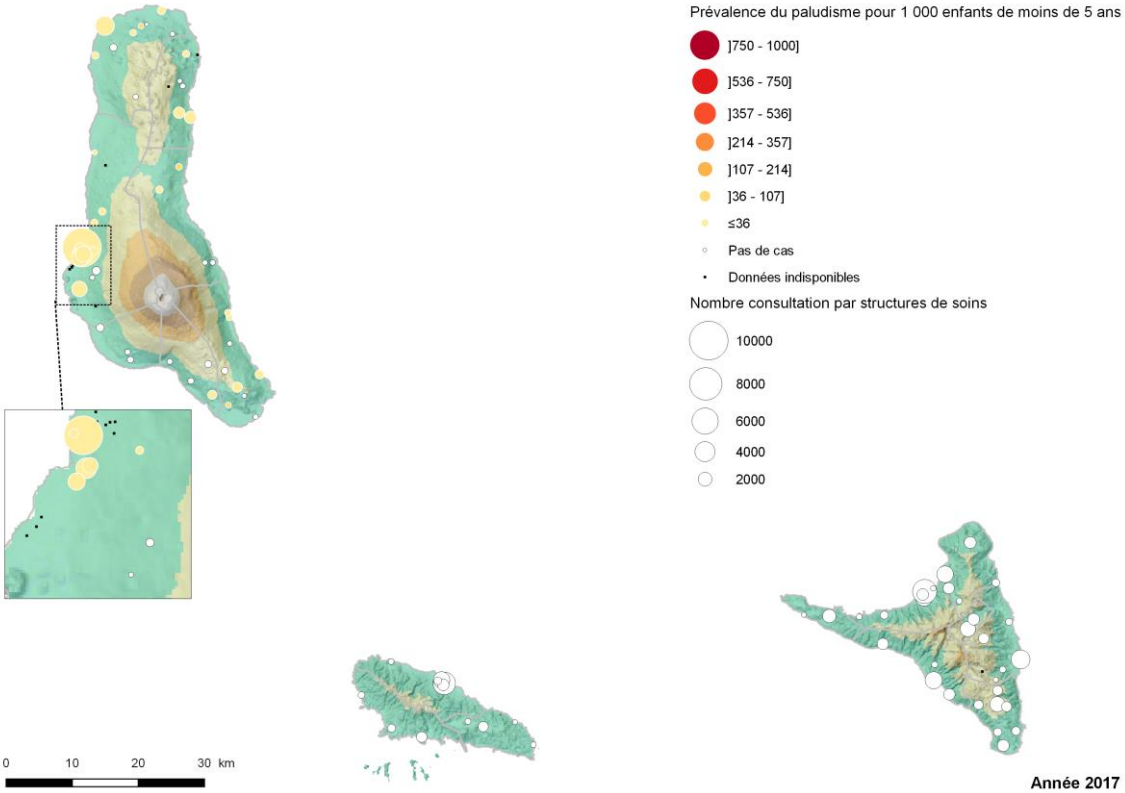


Figure 35 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les enfants de moins de 5 ans en 2017

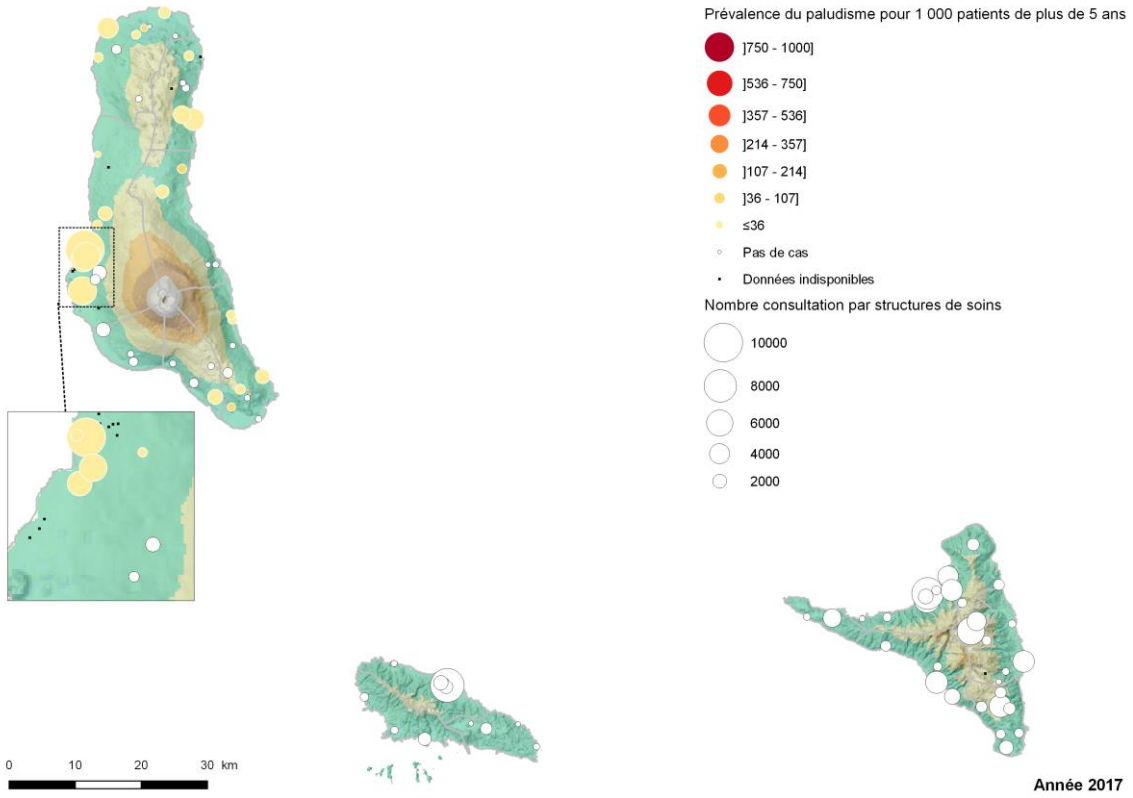


Figure 36 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les patients de plus de 5 ans en 2017

Les données sur les femmes enceintes n'ont été disponibles et complètes sur l'ensemble des îles qu'à partir de 2013. Cette année-là, on a dénombré 84 cas de paludisme sur 1 000 femmes enceintes à la Grande Comore soit le tiers des cas des patients de plus de 5 ans (Figure 30). Sur Anjouan et Mohéli, la prévalence du paludisme a été inférieure à 1 cas pour 1 000 femmes enceintes. Le paludisme chez les femmes enceintes ne représente qu'une faible proportion dans la majorité des structures de soins de la Grande Comore moins de 107 cas pour 1 000 femmes enceintes (Figure 37). Depuis 2014, la prévalence du paludisme chez les femmes enceintes n'a cessé de diminuer jusqu'à atteindre 1,7 cas pour 1 000 femmes enceintes en 2017 à la Grande Comore et zéro cas à Anjouan et Mohéli (Figure 30). Sur la figure 37, nous observons une prévalence inférieure à 36 cas pour 1000 femmes enceintes pour l'ensemble des structures de soins de la Grande Comore.

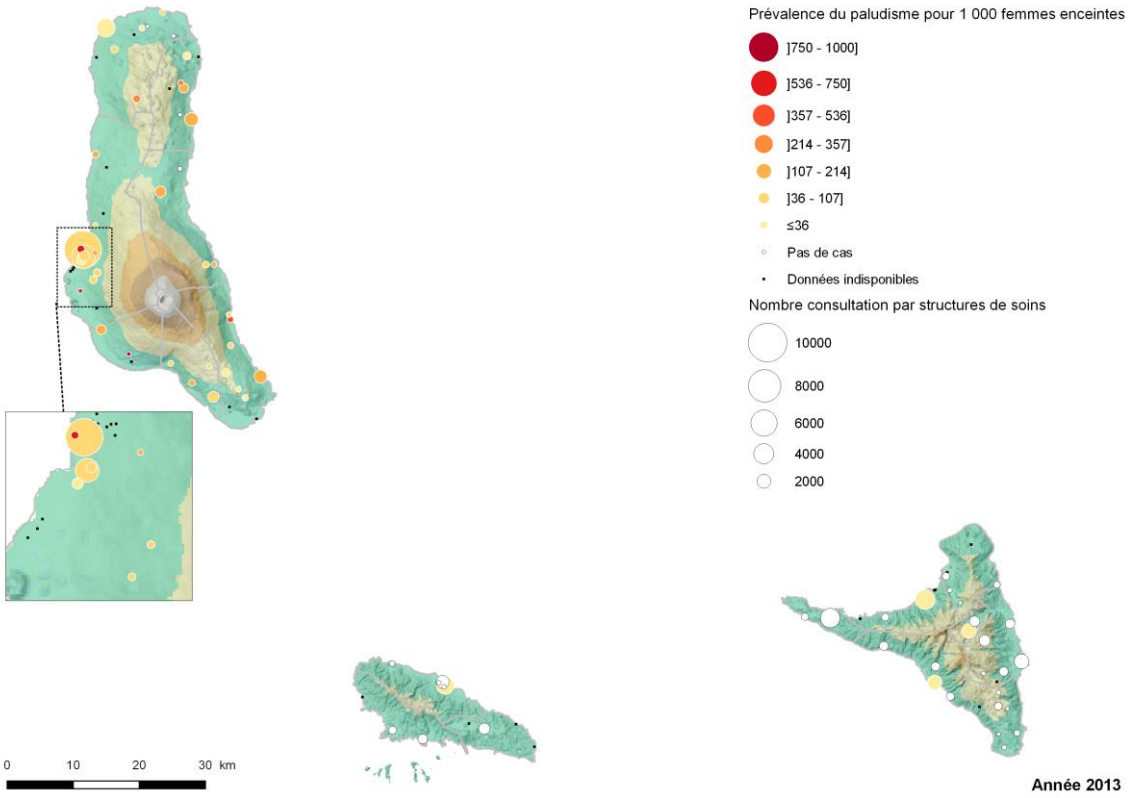


Figure 37 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les femmes enceintes en 2013

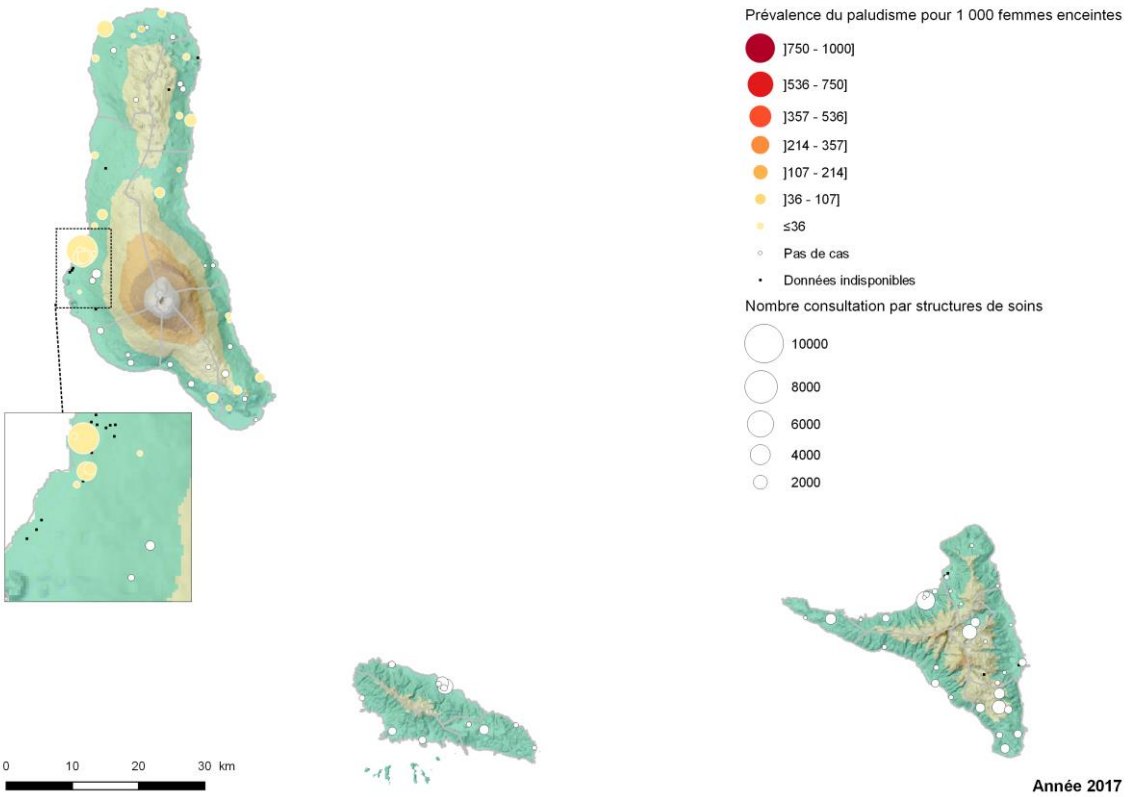


Figure 38 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les femmes enceintes en 2017

2.3.2 Evolution du diagnostic, du traitement des cas simples et de la prévention du paludisme chez les femmes enceintes

L'objectif visé par le PNLP est d'atteindre plus de 95% de cas confirmés à la fois les deux tests (TDR et GE). La proportion de cas de paludisme confirmés par les deux tests (TDR et GE) est 84% à la Grande Comore, à Anjouan (50,4 %), à Mohéli (61,4 %) et à la Grande Comore (84 %). Entre 2014 et 2015, toutes les catégories de structures de soins ont dépassé 90 % de cas de paludisme confirmés par les deux tests (Figure 39) sauf les PS à la Grande Comore (56-79,2 %). Depuis 2016, il y a eu une amélioration de la confirmation des cas dans les PS de la Grande Comore (+10,2 %). D'une manière globale, la proportion de cas de paludisme confirmé à la fois par TDR et par GE a dépassé 90 % sur l'ensemble des îles et les CSD ont atteints 100 % de cas confirmés à Anjouan et Mohéli et 98,8 % à la Grande Comore.

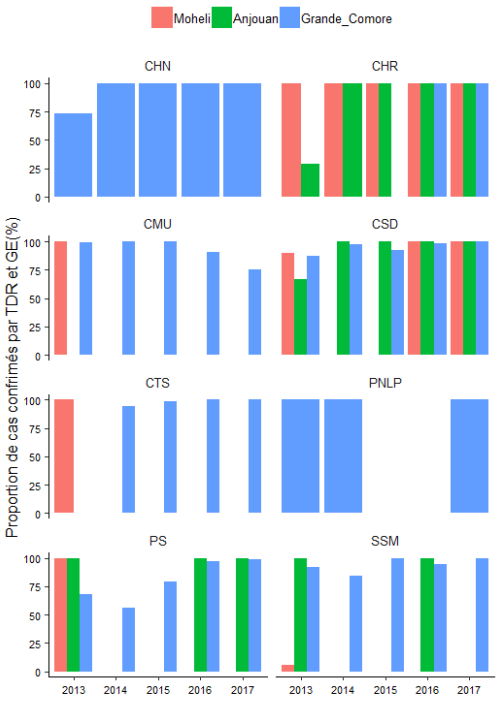


Figure 39 : Evolution du diganostic des cas de paludisme par test TDR et GE dans les différentes structures de soins publics entre 2013-2017

En 2013, le nombre de cas de paludisme simple traités par le Coartem dans les structures de soins a été de 88,64 % à la Grande Comore, 65,33 % à Mohéli et 34,58 % à Anjouan. Cette proportion est d'autant plus faible sur certaines structures de l'île d'Anjouan notamment au CHR (12,76 %) et aux CSD (56,66 %), sur l'île de Mohéli au SSM (3,6 %) et sur l'île de la Grande Comore aux PS (74,51 %). Depuis 2014, l'ensemble des structures de soins d'Anjouan et de Mohéli atteint 100 % de traitement de cas de paludisme simple traités alors que la Grande Comore est à 99,68 % (Figure 40). À la Grande Comore, seules les CSD ont atteint une couverture totale (100 %) de traitement des cas simples sur la période 2015-2017.

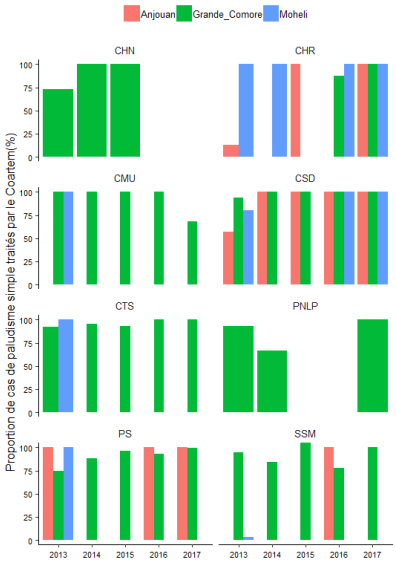


Figure 40 : Evolution du traitement des cas simples par le Coartem dans les différentes structures de soins publics entre 2013-2017

Dans l'ensemble des structures publiques de soins, la prise de la première dose de SP n'a jamais dépassé 75 % des femmes enceintes en CPN1 sur toutes les îles et moins de 60 % pour la deuxième dose. La prise de la sulfadoxine évolue très aléatoirement entre les îles et les types de structures de soins d'une année à l'autre. Il y a une meilleure couverture dans les CHR (60-82 %) et les CSD (60-75 %) à la Grande Comore et à Anjouan et un peu moins à Mohéli (Figure 41). Les structures qui accueillent le plus de femmes enceintes telles que les Centre-Médical-Urbain (CMU) et le Centre Caritas n'atteignent pas 80 % de prise du SP. Par rapport à l'année 2013, il a eu une amélioration de cette couverture entre 2014 et 2016 dans l'ensemble des structures de chaque île. Mais en 2017, il a eu une diminution à la Grande Comore (-7 %) et à Anjouan (-49,9 %).

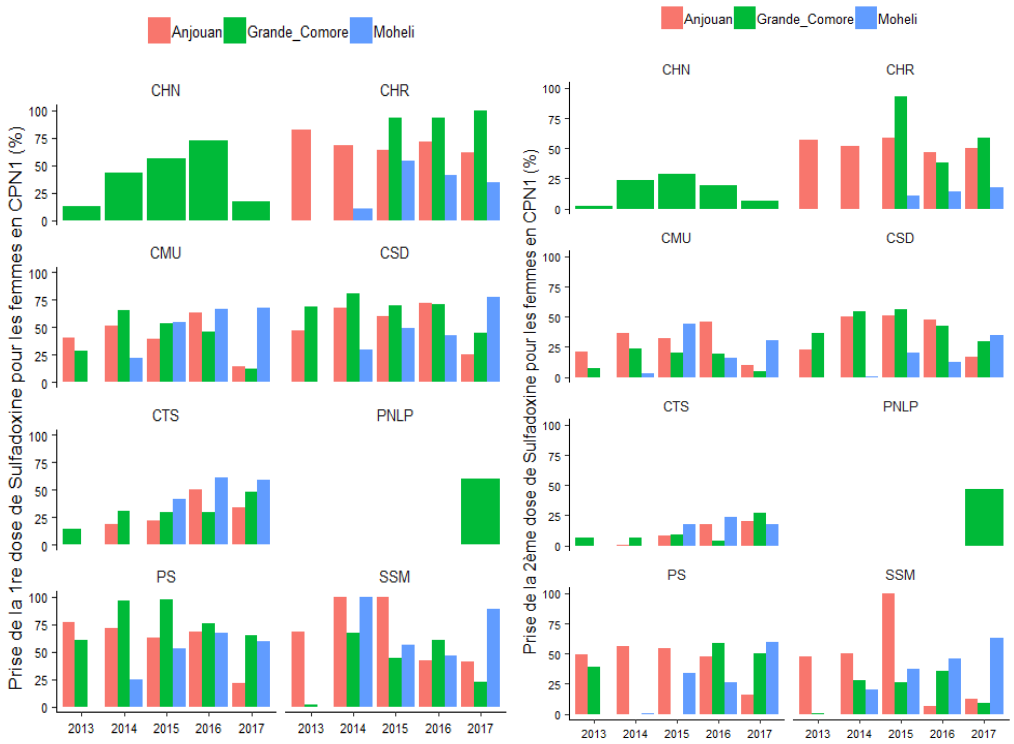


Figure 41 : Evolution du la prise des doses de sulfadoxine pour les femmes enceintes en CPN1 dans les différentes structures de soins publics entre 2013-2017

Les données sur la distribution des MILDs auprès des femmes enceintes en CPN1 ne sont fiables qu'à partir de 2014. Dans les structures de soins publiques, la couverture en MILDs a été à 81 % pour Anjouan, 64,5 % pour Mohéli et 55,3 % pour la Grande Comore en 2014. Depuis 2015, la distribution des MILDs auprès des femmes enceintes dans les structures de soins s'est nettement améliorée sur l'ensemble des îles avec plus de 90 % pour Anjouan et Mohéli et 88 % pour la Grande Comore. Cette amélioration s'observe également dans les différentes structures de soins CSD (+80 %), PS (+75 %) et CMU (+90 %) (Figure 42). On a pu constater une baisse du taux de MILDs distribuées aux femmes en CPN1 à la Grande Comore à partir de 2017 (78,41 %). Cette baisse s'observe surtout au CHN El-Maarouf et au SSM.

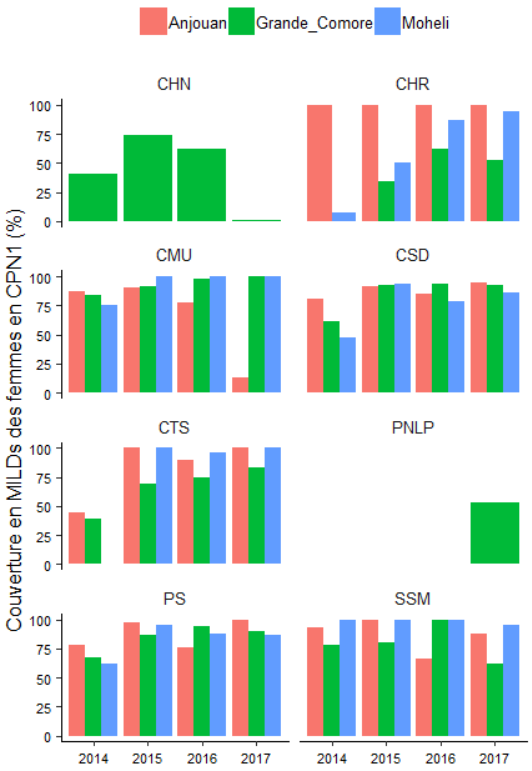


Figure 42 : Evolution de la distribution des moustiquaires aux femmes enceintes en CPN1 dans les structures de soins publics entre 2014-2017

2.3.3 Incidence du paludisme à l'échelle des districts sanitaires

De 2010 à 2017, 306 750 cas de paludisme ont été enregistrés par le PNLP. La majorité de ces cas provient de la Grande Comore 82 % (252 697), 16 % à Anjouan (48 177) et 2 % à Mohéli (5 876). Le paludisme a toujours été dominant à la Grande Comore avec une incidence annuelle de plus de 14 000 cas pour 100 0000 habitants entre 2010 et 2013, alors que les autres îles n'ont jamais atteint 10 000 cas pour 100 000 habitants. Durant cette période, l'incidence du paludisme a été supérieure à 12 000 cas pour 100 000 habitants sur l'ensemble des districts de la Grande Comore (Figure 43), avec peu de différences entre eux. Seul le district du Centre présentait des valeurs plus élevées. L'incidence du paludisme a diminué de 82,5 % à Moheli et de 96,8 % à Anjouan entre 2012 et 2013 (Figure 44). Cette forte diminution a été observée dans tous les districts sanitaires (moins de 100 cas pour 100 000 habitants), excepté le district de Fomboni. Il aura fallu attendre l'année 2014 pour observer une baisse considérable de l'incidence du paludisme à la Grande Comore où seulement 518 cas pour 100 000 habitants ont été enregistrés, soit 92,6 % des cas de l'année 2013. Les

districts du Centre et Hambou ont enregistré plus de 500 cas pour 100 000 habitants. Depuis 2014, le paludisme est spatialement plus variable à l'échelle des districts. Les districts du nord et du sud de la Grande Comore (Mitsamiouli Mboude, Mbadjini Ouest et Hambou) ont enregistré moins de cas (moins de 100 cas pour 100 000 habitants) que les districts du versant est et de l'Ouest entre 2015 et 2016. Sur cette même période, il y a eu moins de 10 cas à Anjouan et à Mohéli. Toutefois, on a observé une augmentation de l'incidence du paludisme de 20 % en 2016 et 34 % en 2017 par rapport à l'année 2015 (Figure 44) et ce surtout à la Grande Comore où l'incidence dépasse plus de 500 cas pour 100 000 habitants dans certains districts (Oichili Dimani, Mbadjini Est et Centre). Cette reprise de 2017 à la Grande Comore va influencer la situation épidémiologique des autres îles, car 19 cas de paludisme ont été notifiés à Anjouan et 15 cas à Mohéli, alors que les deux îles connaissaient des niveaux bas.

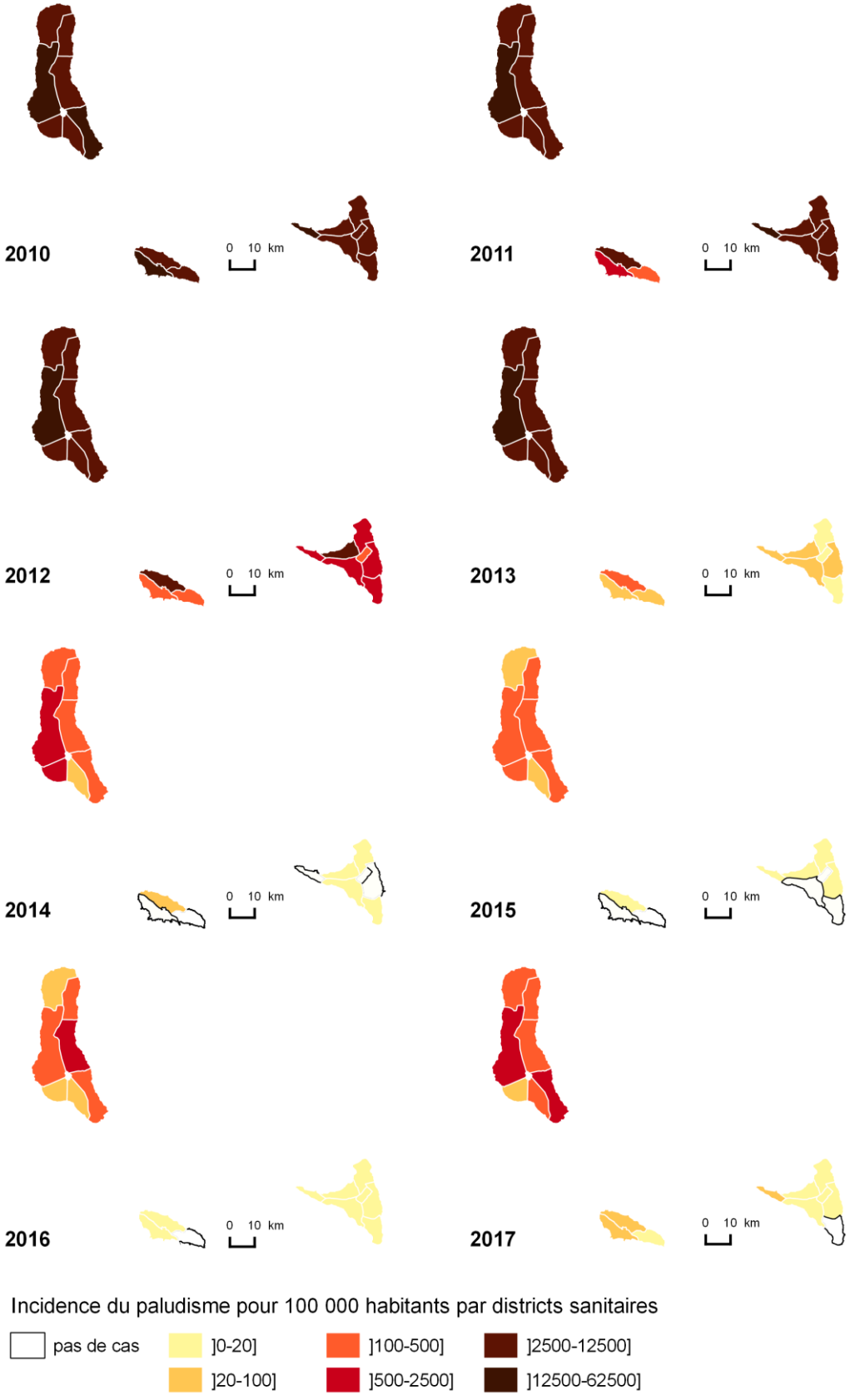


Figure 43 : Cartographie de l'incidence du paludisme pour 100 000 habitants à l'échelle des districts saniataires de 2010-2017

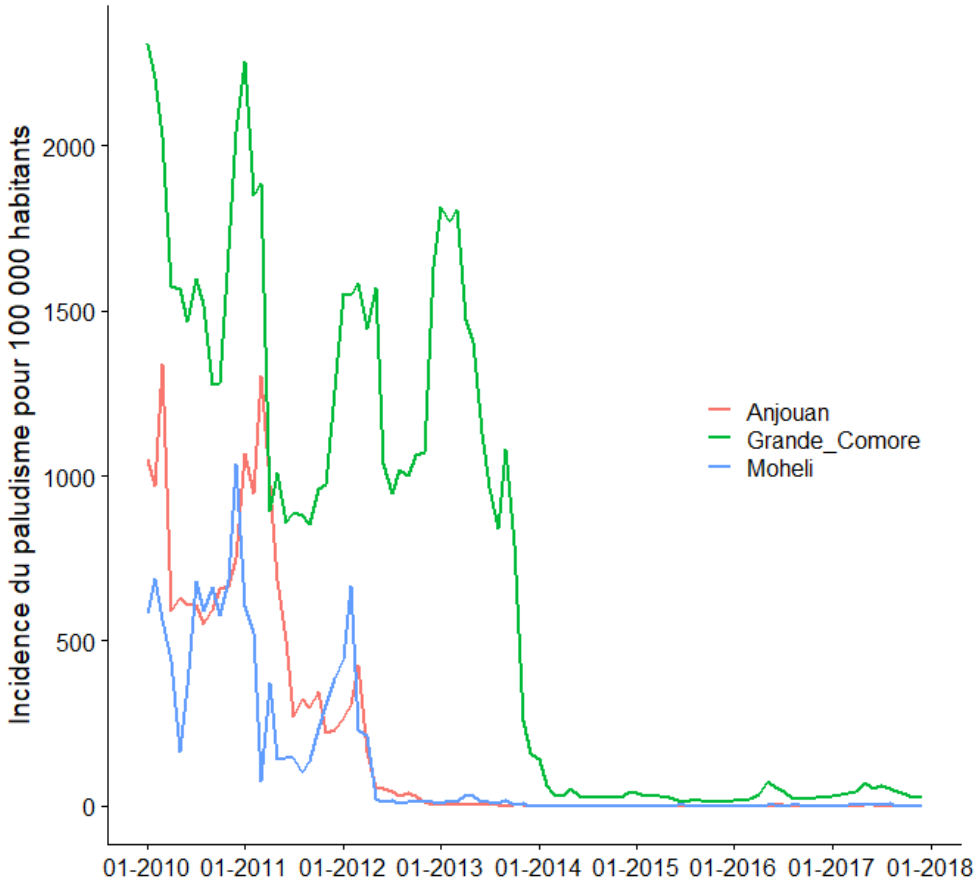


Figure 44 : Evolution de l'incidence mensuelle du paludisme par île de 2010-2017.

De 2010 à 2013, alors que l'incidence du paludisme reste élevée, la survenue des cas suit la saisonnalité avec plus de cas en saison des pluies (Figure 45, 46, 47). Les données des aéroports ne représentent pas la situation météorologique précise de chaque île, mais elles permettent d'observer une tendance globale des précipitations. En saison des pluies, il pleut en moyenne 342 mm/mois à la Grande Comore, 259 mm/mois à Anjouan et 194mm/mois à Mohéli. Entre janvier et février, il peut pleuvoir deux à trois fois la moyenne mensuelle de la saison (Figure 45, 46, 47). L'incidence du paludisme a été très élevée en saison pluvieuse qu'en saison sèche avec une différence significative (Tableau 7). Cette différence est d'autant plus remarquable entre janvier et février (Figure 45, 46, 47). Depuis 2013, après la réalisation du traitement de masse à Anjouan et à la Grande Comore et alors que le niveau du paludisme est bas, l'influence des précipitations semble peu marquée. En effet, à partir de 2015, ce sont même des situations inverses et inédites qui ont pu être observées avec plus de cas en saison sèche : à Anjouan en 2015 et à Mohéli en 2016 avec des cas en saison sèche et pas de cas en saison des pluies et en Grande Comore en 2017 ($F=8,57$ $p<0,01$) (Tableau 7).

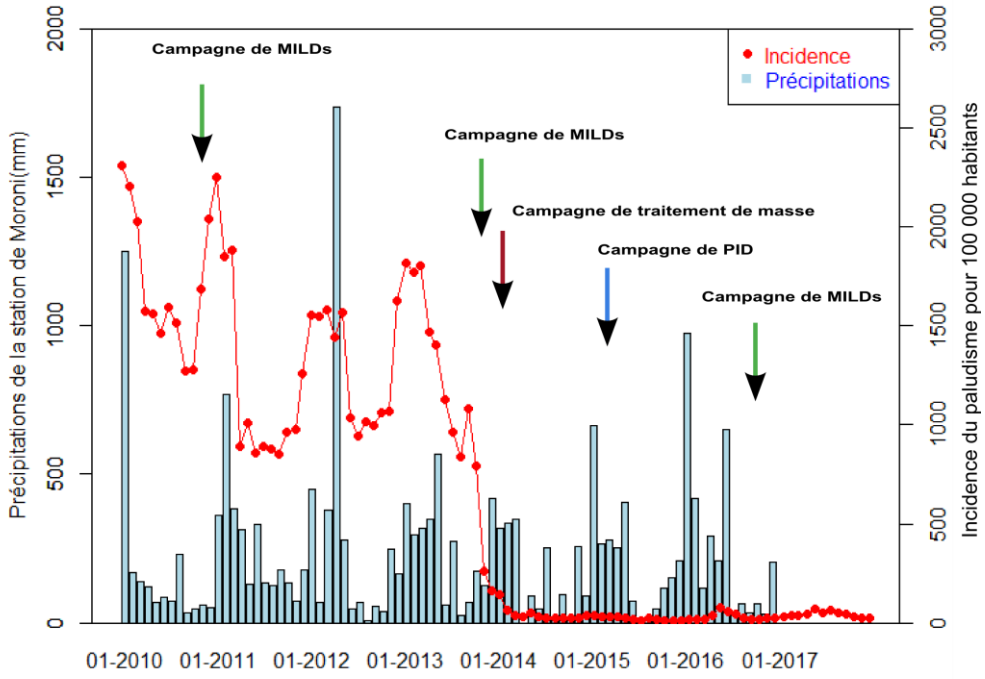


Figure 45 : Evolution de l'incidence du paludisme et de la précipitation mensuelle à la Grande Comore de 2010-2017

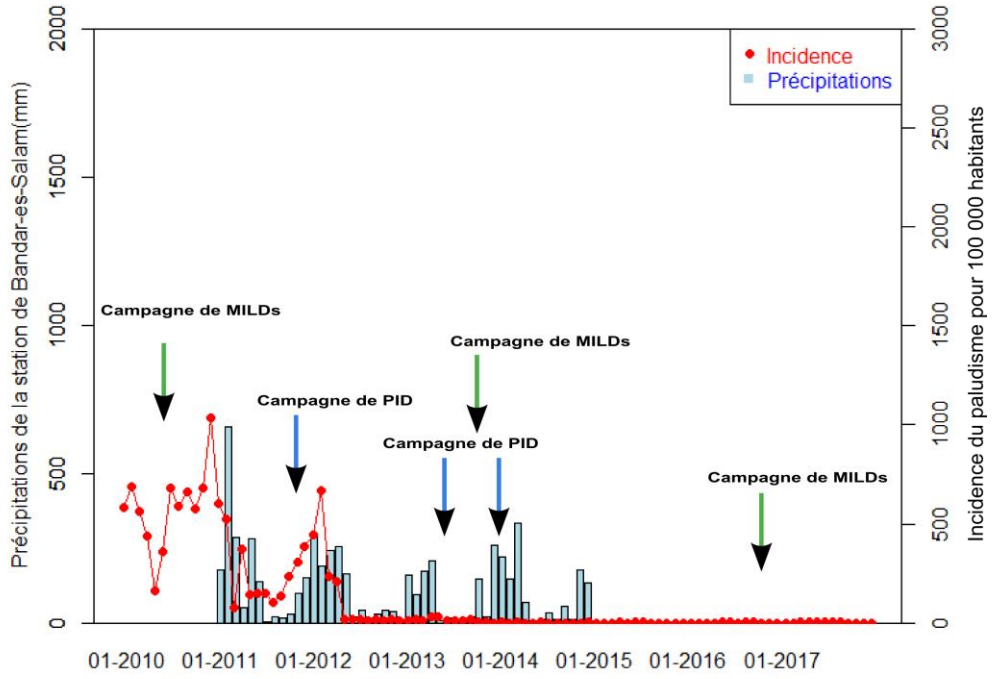


Figure 46 : Evolution de l'incidence du paludisme et de la précipitation mensuelle à Mohéli de 2010-2017.

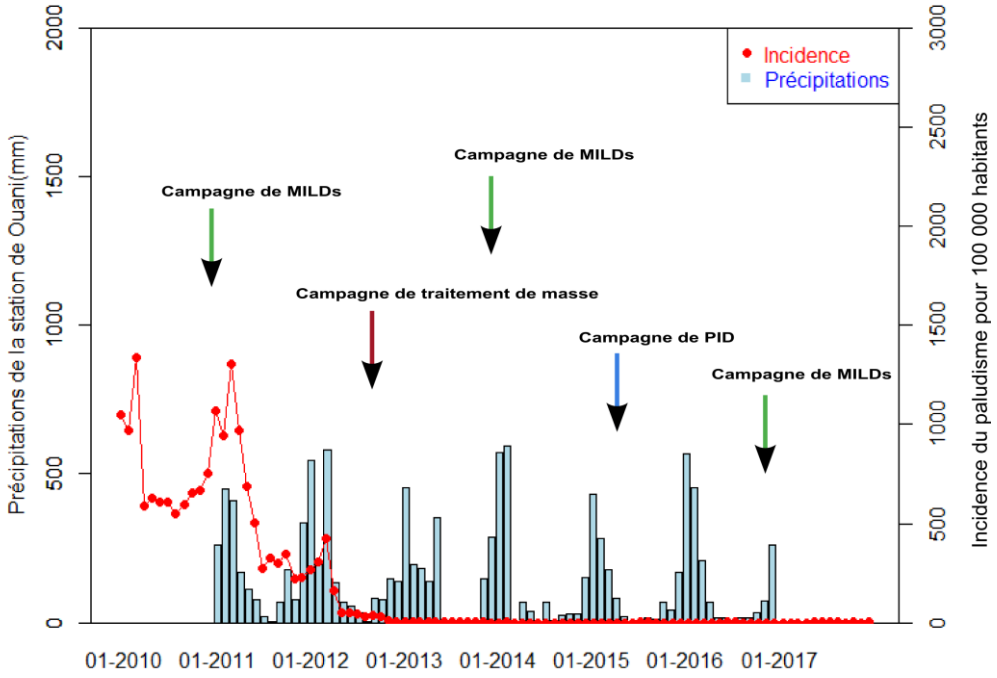


Figure 47 : Evolution de l'incidence du paludisme et de la précipitation mensuelle à Anjouan de 2010-2017.

Tableau 7 : Comparaison de la moyenne de l'incidence du paludisme entre la saison pluvieuse et la saison sèche par île de 2010 à 2017

Iles	année	incidence moyenne		variance	probabilité	
		Saison pluvieuse	Saison sèche	Fvalue	Pr(>F)	
Anjouan	2010	895	607	6,22	0,0317	*
Grande Comore	2010	1975	1450	16,13	0,00246	**
Grande Comore	2011	1519	908	7,18	0,0231	*
Moheli	2011	378	151	8,52	0,0153	*
Anjouan	2012	196	40	5,18	0,046	*
Grande Comore	2012	1472	1105	8,37	0,016	*
Moheli	2012	262	13	5,72	0,0378	*
Anjouan	2015	0	0,43	10,00	0,0101	*
Moheli	2016	0	1,75	5,00	0,0493	*
Grande Comore	2017	32	51	8,57	0,0151	*
Anjouan	2017	0,26	0,72	5,55	0,04503	*

**signifiant pvalue<<0,001, * signifiant pvalue<<0,01

2.3.4 Actions de contrôle et d'élimination du paludisme

Les deux dernières grandes campagnes de distribution de MILDs ont été réalisées par le PNLP, avec la collaboration des ONG locales et des communes, sur l'ensemble des îles en 2013 et en 2016 (Figure 48). En 2013, 357 361 moustiquaires ont été distribuées dont 177 948 à la Grande Comore (49,79 %), 149 100 à Anjouan (41,73 %) et 30 313 à Mohéli (8,48 %). La distribution de 2016 (433 101 MILDs) s'est faite quasiment sur les proportions de 2013. L'unité de distribution, définie par le PNLP, est d'une moustiquaire pour 1,8 personne. Le taux de couverture a dépassé 85 % sur l'ensemble des îles. Ces chiffres montrent une très bonne couverture de la population au cours de ces deux campagnes à l'échelle des districts sanitaires (Figure 48). Certains districts n'ont pas atteint 80 % de couverture en MILDs. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette sous-couverture notamment une sous estimation de la population pendant le recensement, les retards d'acheminement des moustiquaires dans certaines localités et une mauvaise gestion de la foule pendant la distribution.

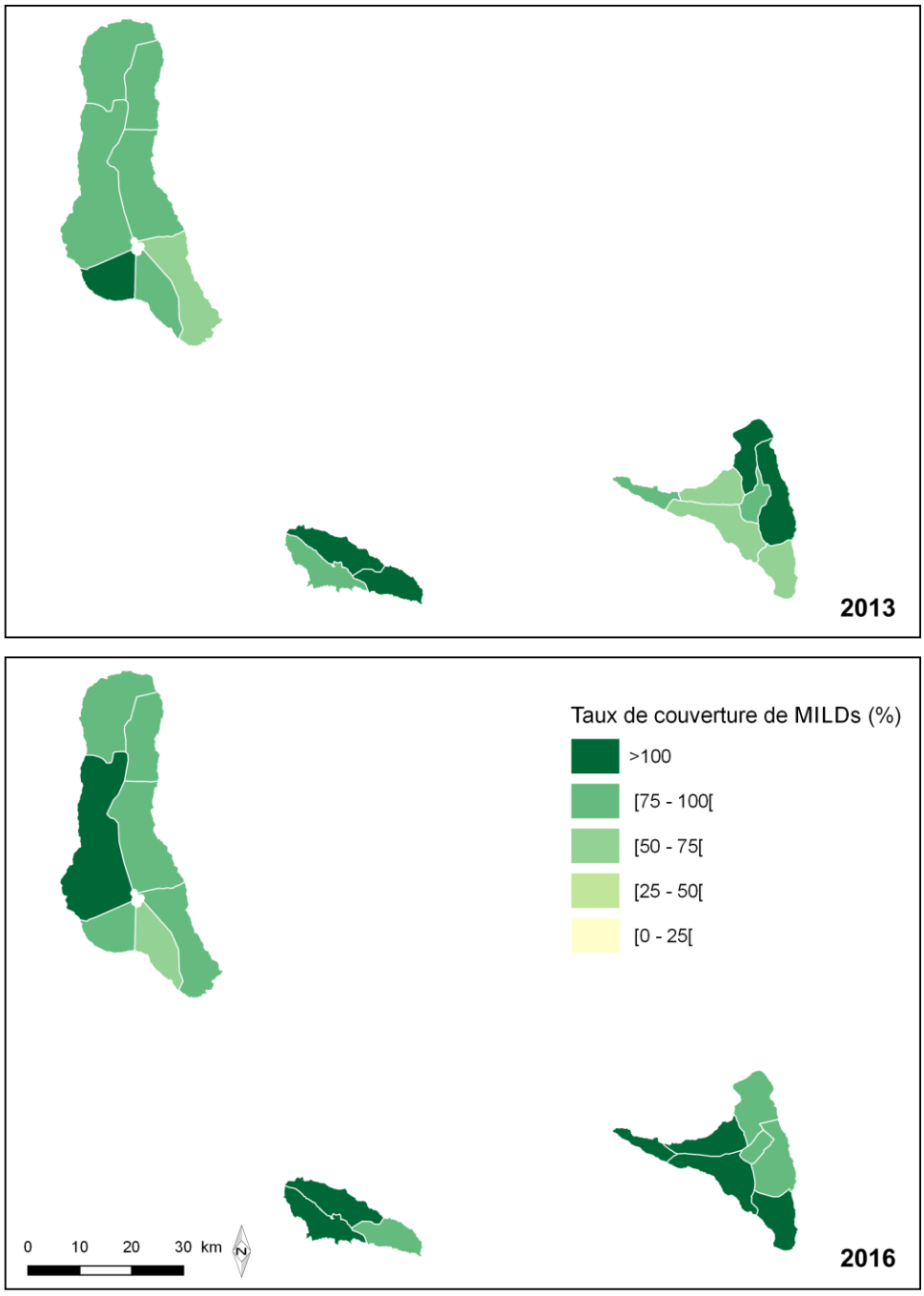


Figure 48 : Cartographie de la couverture des moustiquaires par district durant les campagnes de 2013 et 2016

Dans l'objectif d'atteindre l'élimination du paludisme et donc plus de porteurs de parasites, le PNLP avec l'appui d'une équipe de l'Université chinoise de médecine de Guangzhou a réalisé en 2013 (Figure 49) une campagne d'élimination rapide du réservoir du parasite du paludisme appelé FEMSE (Fast Elimination of Malaria by Source Eradication). Il s'agit d'un traitement de masse de la population à base d'Artequick (artemisinine+pipéraquine) et de la primaquine. Cette campagne a été conduite uniquement à Anjouan et en Grande Comore entre 2012 et

2013. Mohéli n'a pas été intégrée, car ce traitement y avait été réalisé entre 2007 et 2009. Au total, 430 115 personnes ont pris le traitement de masse sur les deux îles soit 81,41 % (430 115/528 303) de la population de 2013. Le taux de couverture a été de 83,62 % à Anjouan et 80,21 % à la Grande Comore. On a observé une couverture de plus de 75 % sur l'ensemble des districts sauf sur deux districts à la Grande Comore (Hamahamet Mboinkou et Mbadjini Est).

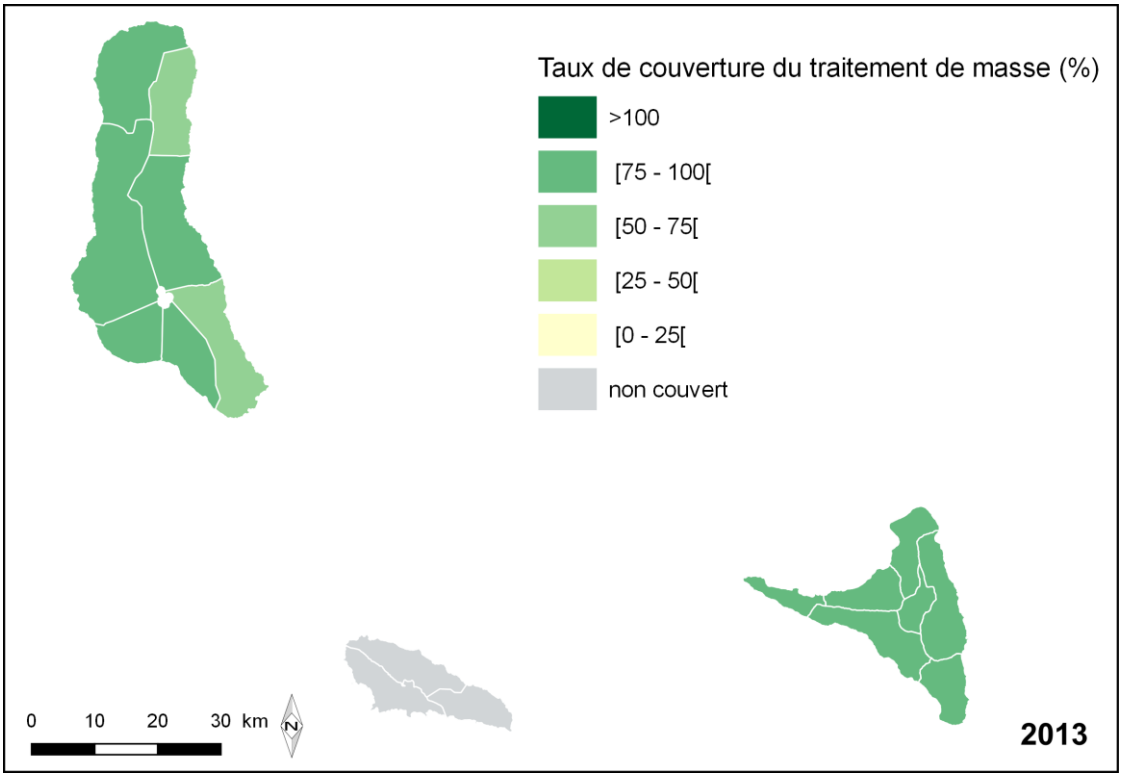


Figure 49 : Cartographie de la couverture du traitement de masse de 2013 par district sanitaire

En regardant à l'échelle des districts sanitaires de chaque île, nous n'observons pas de corrélation significative entre l'incidence du paludisme et la couverture de MILDs et du traitement de masse. Toutefois, dans l'ensemble des districts sanitaires d'Anjouan et de la Grande Comore, l'incidence du paludisme est corrélée négativement et significativement à la couverture de traitement de masse ($r=-0,55$, $p<0,05$). Ce coefficient de corrélation est plus élevé si le district du Centre est exclu du test ($r=-0,70$, $p<0,001$).

Un modèle de régression linéaire multiple a été appliqué afin d'estimer l'effet de ces deux actions de lutte (traitement de masse et campagne de MILDs) en Grande Comore et à

Anjouan sur l'incidence du paludisme entre la période 2014-2017 (Tableau 8). Aucun modèle de régression linéaire multiple n'a pu être identifié à l'échelle des districts sanitaires en prenant chaque île indépendamment. Toutefois, en prenant l'ensemble des districts des deux îles, le modèle de régression linéaire multiple retient uniquement la couverture du traitement de masse ($p<0,05$). Ce modèle s'améliore si on exclut le district du centre de l'analyse ($p<0,05$).

Tableau 8 : Analyse de régression linéaire multiple entre les actions de lutte menées en 2013 et l'indence du paludisme entre 2014 et 2017

Echelle des districts (Anjouan et Grande Comore)	**Variables**	**Estimate**	**Standard Error**	**t-value**	**p-value**
tous (p-value=0,077)	**(Intercept)**	**2001,144**	**775,636**	**2,580**	**0,0256 ***
	Couverture de MILDs	3,130	2,971	1,053	0,3147
	Couverture du traitement de masse	**-25,951**	**10,211**	**-2,541**	**0,0274 ***
tous (excepté le Centre) (p-value<0,05)	**(Intercept)**	**2166,375**	**620,691**	**3,490**	**0,00582 ****
	Couverture de MILDs	2,124	2,395	0,887	0,39596
	Couverture du traitement de masse	**-27,280**	**8,147**	**-3,349**	**0,00738 ****

2.4 Discussion

Cette étude permet de comprendre comment le paludisme a reculé entre 2010 et 2017 aux Comores. Ce recul s'observe à travers la cartographie de la prévalence et de l'incidence du paludisme. L'analyse de la prévalence montre que les enfants de moins de 5 ans ont été plus touchés dans l'ensemble des îles que les autres catégories de patients (les plus de 5 ans et les femmes enceintes). Durant les années 1970, 1980 et 1990, l'indice plasmodial a toujours été très élevé chez les enfants de moins de 5 ans dans les îles de l'archipel des Comores (Galtier, Blanchy, 1982 ; Blanchy et al., 1987 ; 1999). En huit ans, la prévalence et l'incidence du paludisme ont diminué de plus de 98 % en Union des Comores. Cette observation a été également été faite par d'autres auteurs (Kassim et al., 2016 ; Toyb et al., 2016). Durant cette période, on peut noter que le nombre de cas autochtones du paludisme à Mayotte a considérablement diminué (Maillard *et al.*, 2015). La régression du paludisme s'est faite sur toutes les catégories de patients, mais elle était très remarquable chez les enfants de moins de 5 ans.

Une incidence du paludisme, bien que faible, est toujours notifiée dans les districts sanitaires de la Grande Comore entre 2014 et 2017 alors que plusieurs structures de soins n'ont enregistré aucun cas. L'échelle des structures de soins renseigne d'où consultent et proviennent les malades dans chaque district sanitaire. Ces éléments renseignent davantage sur le recul et le maintien du paludisme. Le paludisme reste maintenu à l'est dans le district d'Oichili Dimani et à l'ouest dans le district du Centre (ville de Moroni). En 2017, la majorité des cas de paludisme, pour toutes les catégories des patients, ont été notifiés dans les structures de soins où le nombre de consultations dépasse 2 000 patients.

La prise en charge correcte et totale des cas de paludisme en milieu hospitalier est un indicateur important pour comprendre l'élimination du paludisme. Après la réalisation du traitement de masse, plus particulièrement à Anjouan et à la Grande Comore, la confirmation et la prise en charge des cas de paludisme ont été nettement améliorées. Depuis 2014, les cas de paludisme simples ont été traités à 100 % par le Coartem à Anjouan et Mohéli contre 98-99 % à la Grande Comore. L'efficacité de l'Arthémether-luméfantrine dans le traitement du paludisme à *P. falciparum* est connue dans les îles de l'archipel des Comores (Tall et al., 2004 ; 2007). La prise en charge totale des cas simples a contribué à l'interruption du cycle de transmission du *P. Falciparum* à Anjouan et à Mohéli. Certaines structures de soins publics de la Grande Comore, notamment les PS, n'atteignent pas 90 % de cas simples traités. Or, la morbidité du paludisme des enfants de moins 5 ans est très élevée dans ces petites structures. Ceci peut traduire des difficultés importantes dans la distribution des médicaments dans les différentes structures de soins de la Grande Comore. Cela semble normal, car il y a plus de structures de soins publiques à la Grande Comore (48 dont 36 PS) qu'à Anjouan (33 dont 22 PS) ou à Mohéli (15 dont 8 PS). L'éloignement et le manque de moyens de transport des PS, contrairement aux grandes structures comme les CHR, CSD et SSM, peuvent entraver pour la prise en charge correcte des cas de paludisme. Pour y pallier, le PNLP a motorisé les Agents de santé de districts (ASD) qui doivent assurer le ravitaillement dans toutes les structures de soins de leurs districts.

Suite à la réduction importante de l'incidence du paludisme, en particulier après le traitement de masse sur la Grande Comore et Anjouan, le cycle saisonnier du paludisme en fonction des précipitations semble rompu. Ce changement de cycle s'accompagne également d'un changement de faciès du paludisme avec une forte incidence dans les districts du versant est (Oichili Dimani et Mbadjini Est) de la Grande Comore. Auparavant, le paludisme était

identifié comment étant hypoendémique dans les versants est en saison sèche et méso-endémique en saison pluvieuse (Ouledi, 2003). Depuis les actions de lutte (traitement de masse et distribution de MILDs), nous avons observé plus de variation spatiale et temporelle de l'incidence du paludisme entre les districts et entre les îles.

La distribution des MILDs à la population comorienne a été un succès, car plus de 80 % de la population a été couverte par ces deux campagnes sur l'ensemble des îles. L'impact de cette action sur le recul de l'incidence, après sa réalisation, n'a été pas été observé à l'échelle des districts sanitaires. La couverture des MILDs a eu plus d'impact dans l'évolution de la situation du paludisme à Madagascar ces dernières années (Kesteman et al., 2014) et dans d'autres pays d'Afrique comme la Tanzanie (Ishengoma *et al*., 2013), le Cameroun (Bowen, 2013) et le Rwanda (Karema *et al.*, 2012). Nous ne pouvons pas dire que la distribution des MILDs ne contribue pas au recul du paludisme aux Comores, mais plutôt dire qu'il est difficile de mesurer son impact à cette échelle des districts sanitaires. Il est possible aussi qu'il y ait un écart important entre la couverture et l'utilisation réelle des moustiquaires. C'est une question à laquelle nous avons essayé de répondre dans le chapitre 4. Son impact a pu aussi être occulté par l'action du traitement de masse.

La campagne de traitement de masse a été corrélée négativement avec l'incidence du paludisme durant la période 2014-2017. Ceci démontre l'effet qu'a eu ce traitement dans le recul du paludisme à la Grande Comore et Anjouan tout comme à Mohéli durant la période 2007-2009 (Deng *et al*., 2014). Ce traitement a été efficace sur le paludisme (Mutabingwa, 2005) notamment dans les pays asiatiques comme le Cambodge (Song *et al*., 2010) et la Chine (Deng *et al.*, 2014) et des pays africains (Karema *et al.*, 2012). La régression linéaire multiple montre que quatre ans après, le paludisme peut être modélisé en fonction de cette action.

L'ampleur de la campagne de traitement de masse a suscité des questions sur d'éventuelles résistances biologiques des parasites du paludisme comme cela a été le cas dans des pays en Asie (Dondorp *et al*., 2009) et le cas sur l'utilisation de la chloroquine aux Comores (Parola *et al*., 2007). Une étude a évalué l'efficacité de l'artemisine dix ans après son utilisation à Mohéli et les résultats ont montré qu'il n'y a aucune résistance développée par le *Plasmodium falciparum* contre l'artemisinine (Huang et al., 2015a). Il faut toutefois noter que cette étude a été réalisée par la même équipe de l'Université Chinoise de Médecine de Guangzhou que celle qui a organisé la distribution de masse.

Chapitre 3 : Analyse spatiale des facteurs environnementaux favorisant la transmission du paludisme

Introduction

Dans le chapite précédent, nous avons observé que les variations spatiales de l'incidence du paludisme apparaissent après 2013, à l'échelle des districts sanitaires et des structures de soins. Ayant montré l'intensité de la relation entre le recul du paludisme et la temporalité des différentes actions de lutte, la question qui se pose dès lors, est : les actions de lutte contre le paludisme ont-elles réduit le poids (le déterminisme) des facteurs environementaux sur la transmission du paludisme aux Comores ?

La transmission du paludisme aux Comores est assurée principalement par deux espèces de moustiques ; *Anopheles gambiae* et *Anopheles funestus* (Ouledi, 1995 ; Julvez *et al*., 1990). *Anopheles gambiae* est répandue sur l'ensemble des îles contrairement à *Anopheles funestus* qui n'est observée qu'à Anjouan et à Mohéli (Blanchy et al., 1987). Ces vecteurs s'adaptent à différents milieux d'une île à l'autre. A la Grande Comore, *A. gambiae* se développe dans les reserves d'eau des citernes des ménages, les bassins d'ablution mais également les stocks d'eau dans les habitations (Blanchy *et al.*, 1999). Elle se trouve également dans les ruiseaux et les estuaires bouchés à Anjouan et à Mohéli (Blanchy *et al*., 1987). Sur ces deux îles, *A. funestus* s'adapte parfaitement dans les rizières et les marécages (Blanchy *et al*., 1999). La présence de l'eau conditionne la multiplication de ces vecteurs. La densité de vecteurs est, rappelons le, très élevée en saion pluvieuse et humide (Blanchy *et al.*, 1999). Dans ce contexte, il y a toujours eu une intersaisonnalité du paludisme avec plus de cas en saison pluvieuse. Le paludisme serait hyperendémique dans les zones très pluvieuses et hypoendémique dans les zones moins pluvieuses (Ouledi, 2003). Ces facteurs jouent-ils sur la période d'étude, un rôle constant sur la transmission du paludisme ?

Dans cette perspective, nous cherchons dans ce chapitre à identifier les facteurs environnementaux favorables à la transmission du paludisme à deux échelles : les districts sanitaires sur les trois îles et les villages à la Grande Comore. L'échelle des villages apporte plus de précisions pour mieux comprendre la répartition spatiale du paludisme. Malheureusement, peu de données sont disponibles à cette échelle et seules celles de l'année 2016 sur la Grande Comore ont pu être utilisées pour cette étude.

3.1 Analyse des facteurs environnementaux favorables à la transmission du paludisme aux Comores à l'échelle des districts sanitaires de 2010 à 2014

3.1.1 Introduction

Le paludisme aux Comores est lié à la transmission du *Plasmodium falciparum* (98,11 %), *Plasmodium vivax* (1,25 %) et *Plasmodium malaria* (0,63 %) (Papa Mze *et al*., 2016). La transmission de ces parasites est assurée par deux espèces d'anophèles ; *Anopheles funestus* et *A. gambiae* (Silai et al., 2007). Un rapport d'enquête entomologique, réalisé en 2015 par l'équipe de la lutte anti-vectorielle du PNLP, a montré une forte densité d'*A. gambiae* sur l'ensemble des trois îles (plus de 90 %) tandis qu'*Anopheles funestus* est uniquement observée à Anjouan avec une faible densité (27,21 %). L'abondance d'*A. gambiae* est liée à sa capacité d'adaptation à une variété de gîtes larvaires notamment les citernes à la Grande Comore, mais aussi aux estuaires obstrués (partiellement) à Anjouan et à Mohéli (Blanchy *et al*., 1987). L'absence d'*A. funestus* à la Grande Comore serait liée à l'absence de gîtes larvaires favorables au développement des œufs notamment les rizières et les marécages herbeux (Blanchy *et al*., 1987). Le biotope de ces vecteurs a ainsi été décrit comme spécifique à chaque île.

Les méthodes de la géomatique telles que le traitement des données issues de l'imagerie satellitaire et les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ont été utilisées dans plusieurs études afin d'évaluer les facteurs environnementaux en lien avec la transmission des maladies (Hay *et al*., 2004) notamment le paludisme (Yu, Tang, 2004). Les SIG ont été ainsi utilisés pour la cartographie de l'incidence et des facteurs de risque du paludisme (Sipe, Dale, 2003). L'utilisation des images satellitaires a permis d'étudier les relations dans l'espace entre l'occupation et l'utilisation du sol et le paludisme (Stefani *et al*., 2013). Ces facteurs ont été utilisés pour comprendre la répartition des vecteurs du paludisme (Benali *et al.*, 2014). L'indice de végétation (NDVI) est considéré comme un indicateur clé de l'évolution du paludisme au Kenya (Fastring, Griffith, 2009). D'autres indicateurs relevant de la géomorphologie, tels que la configuration des réseaux hydrographiques, la topographie décrite à travers les Modèles Numériques de Terrain (MNT), ont contribué à expliquer la transmission du paludisme (Smith et al., 2013). L'évolution spatiale et temporelle du paludisme est ainsi liée à plusieurs facteurs environnementaux et géomorphologiques qui caractérisent l'habitat des vecteurs et le milieu de vie des populations. Ils peuvent dans ce

contexte être assimilés à des facteurs de risque de tranmission du paludisme. Plusieurs modélisations de l'évolution et du risque du paludisme mobilisent aisni l'information géographique issue de l'imagerie satellitaire et l'information géographique manipulée dans un contexte de SIG (Ceccato., 2005).

Bien qu'une nette diminution du paludisme en Union des Comores ait été observée, la situation entre les districts et les îles reste très variable et cette variabilité pourrait être liée à la grande diversité des milieux. L'objectif de cette étude est d'identifier les liens spatiaux qui existent entre les facteurs environnementaux et l'incidence du paludisme entre les îles et au sein de chaque île. Dans cette perspective, nous avons eu recours à l'analyse d'images satellite par télédétection, afin de réaliser une cartographie de l'occupation du sol et de caractériser l'environnement. Les images satellite à basse résolution spatiale nous ont également permis de décrire l'évolution de la vigueur de la végétation, à travers le calcul d'indices de végétation, qui fluctuent en fonction des saisons.

3.1.2 Méthodologies

3.1.2.1 Données environnementales support à l'analyse du contexte environnemental

- ✓ **Indices de végétation**

Nous avons utilisé des images produites par le Spectroradiomètre Imageur à Résolution Moyenne (MODIS), installé sur les satellites Terra et Aqua, lancés dès 1999 à une altitude de 705 kilomètres. Fréquemment utilisé comme source de données environnementales, MODIS offre des produits qui permettent de décrire les caractéristiques de la Terre, des océans et de l'atmosphère, avec 36 bandes spectrales comprises entre 0,4 et 14,4 µm (du spectre du visible aux infrarouges proches, moyens et thermiques). La fauchée de ces capteurs varie entre 250 mètres et 1 kilomètre (NASA, 2010). De part leur répétitivité (1 à 2 jours) et les longues chroniques de données (près de 20 ans) qu'ils offrent, ces satellites peuvent servir à étudier les processus et les tendances à différentes échelles, locales ou globales. Au sol, les utilisateurs qui disposent d'un émetteur-récepteur en bande X peuvent capter directement ces données. Cependant, comme pour beaucoup de capteurs à moyenne résolution spatiale, différents serveurs permettent d'accéder par internet à des produits issus de ces images, comme des indices de végétation de type NDVI.

Nous avons ainsi téléchargé les NDVI de MODIS à une résolution spatiale de 250 mètres en utilisant le logiciel R et le package Modis Download 3.0 (http://r-gis.net/ModisDownload/ModisDownload.R). « ModisDownload » permet de choisir le produit MODIS à télécharger, de définir une date spécifique ou une période, et de spécifier l'emprise (celle-ci peut comprendre plusieurs images). Cette extension fait appel au logiciel « MODIS Reproject Tool » (MRT) pour mosaïquer les images téléchargées (en cas de sélection de plusieurs images) et les reprojeter dans un système de coordonnées spécifié. Pour les Comores c'est le système UTM zone 38S WGS84 (EPSG : 32738) qui est le système de référence. Cette application permet aussi de convertir les images du format original HDF vers d'autres formats reconnus par la plupart des logiciels de SIG (Geotiff, hdr, …).

Nous avons utilisé des synthèses bi-mensuelles (16 jours) afin de s'absoudre des nuages et de produire les chroniques les plus complétes possibles. Elles sont disponibles jusqu'à une résolution de 250 mètres en format TIF. Le produit le plus utilisé est l'indice de végétation ou NDVI (Figure 50), qui est classiquement construit à partir des réflectances dans le domaine du rouge (R) et du proche infrarouge (PIR) : NDVI=(PIR-R)/(PIR+R). La végétation absorbe plus la lumière rouge que celle de l'infrarouge. Le NDVI varie entre -1 et 1 et une valeur proche de + 1 traduit la présence de végétation à forte concentration en chlorophylle. Cet indice est par conséquent sensible à la vigueur et à la quantité de végétation.

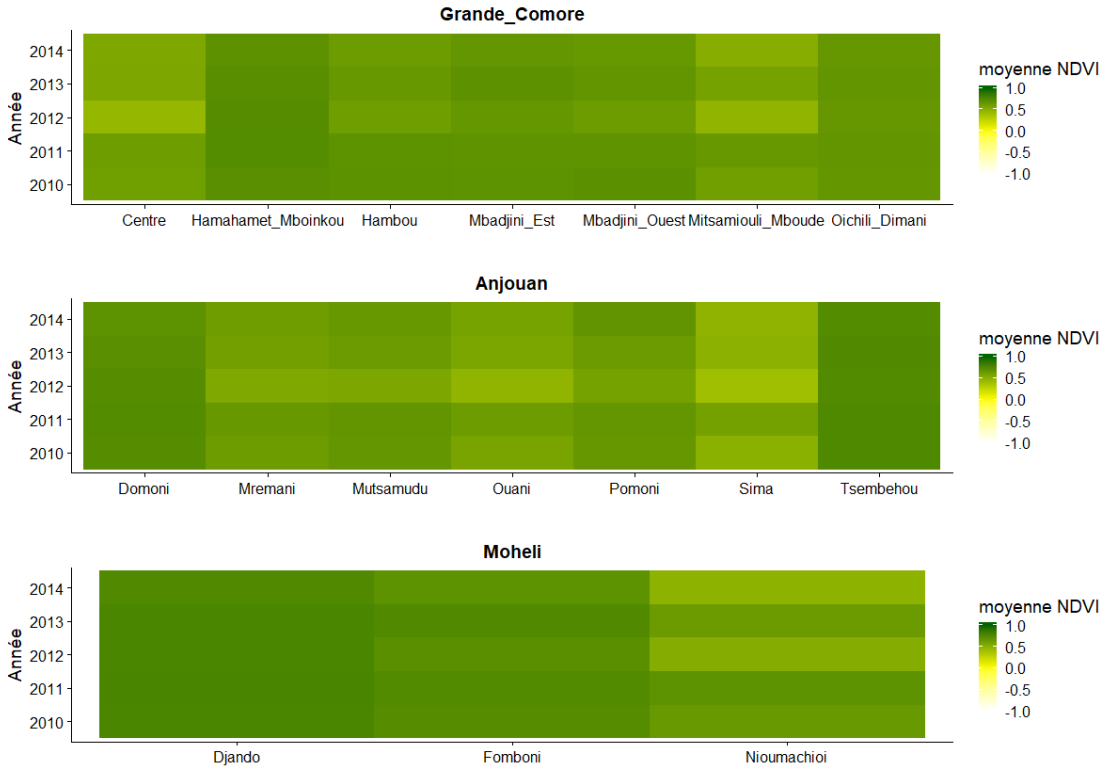


Figure 50 : Moyenne NDVI par district et par île entre 2010 et 2014 (sources données : MODIS)

✓ Cartographie de l'occupation du sol par télédétection

Décrire l'environnement autour des districts sanitaires peut être réalisé par la cartographie de l'occupation du sol. L'**occupation du sol** désigne *« la couverture (bio-) physique de la surface »* de la Terre (FAO,1998). Les cartes produites montrent les types homogènes de milieux présents et les mosaïques paysagères qu'ils forment. Donc une carte d'occupation du sol s'analyse en terme de nomenclature (classes d'occupation du sol présentes) et de structure des paysages (organisation de l'espace). L'imagerie satellitaire et la photographie aérienne sont indispensables pour produire ce type de document. Leur analyse nécessite des chaînes parfois complexes de traitement et d'interprétation, notamment de méthodes dites « de classification » destinées à transformer la mesure radiométrique (réflectance) associée à chaque pixel de l'image (intensité et autres caractéristiques du rayonnement réfléchi par un élément de surface) en une information interprétable, comme par exemple la nature de la surface[19] (savanes, marécages, forêts, sols nus,…). Plusieurs nomenclatures normalisées

[19] CAZENAVE, Anny. *La Terre et l'environnement observés depuis l'espace : Leçon inaugurale prononcée le jeudi 21 mars 2013.* Paris : Collège de France, 2013 (généré le 03 décembre 2018). <http://books.openedition.org/cdf/3286>. ISBN : 9782722602762. DOI : 10.4000/books.cdf.3286.

d'occupation du sol existent. Nous avons utilisé celle de la FAO, appelée Land Cover Classification System (*LCCS*).

Dans le cadre de cette étude, des images SPOT 5 (Satellite pour l'observation de la Terre) nous ont été fournies par la station de réception au sol en bande X, SEAS-OI[20] (Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellite), de La Réunion. Ce satellite a été développé par le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), la distribution des données est classiquement assurée par Astrium services/Spot images ici elle est sous traitée à SEAS-OI. Il s'agit de la troisième génération de satellites SPOT, qui a été lancée en 2002 et désorbitée en 2015.

Nous avons utilisé des données multispectrales à 10 mètres de résolution spatiale (bandes ; PIR, Rouge, Vert et MIR) et des images panchromatiques à 5 mètres. Ces images ont été acquises le 30 mai 2013 pour la Grande Comore, le 11 septembre 2014 pour Anjouan et le 08 décembre 2014 pour Mohéli. A partir de ces données acquises au niveau 1A (c'est-à-dire corrigées des effets instrumentaux) nous avons produit des cartes d'occupation du sol en deux phases de traitement.

La première phase de prétraitement consiste en l'orthorectification. Il s'agit d'une correction géométrique des images qui a pour but de les présenter comme si elles avaient été acquises au nadir donc sans déformation sur les marges. En pratique, il s'agit de rendre l'image parfaitement superposable à une carte de même échelle. Ces prétraitements ont été réalisés avec le logiciel ENVI (v5.1). Pour prendre en compte les fortes variations de la topographie (de 0 à plus de 2300 m à la Grande Comore), un modèle numérique d'élévation de type SRTM1 (Shuttle Radar Topography Mission[21]) a été utilisé pour corriger les effets de l'altitude dans la phase d'orthorectification. Ce SRTM d'une seconde d'arc (SRTM1) correspond un pixel de 31 mètres à l'Equateur. Le système de coordonnées géographiques utilisé est EPSG : 32738, qui utilise le géoïde WGS84 et une projection sur la zone UTM 38 Sud. Les images panchromatiques en supermode[22] (2,5 m de résolution) et multispectrales (10 m de résolution) sont orthorectifiées dans le système de référence et fusionnées en utilisant l'algorithme de pansharpening sous ENVI (Gram-Schmidt Spectral Sharpening : GSSS). Cette méthode permet d'affecter la résolution de l'image panchromatique (haute

[20] (http://www.seas-oi.org)
[21] https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc
[22] A partir de deux images panchromatiques acquises simultanément au pas de 5 mètres décalées en ligne et en colonne de 2,5 m, le supermode permet de produire une image échantillonnée à 2,5 mètres (http://spot5.cnes.fr/systeme/3110.htm)

résolution), à l'image multispectrale (faible résolution) (Cornet *et al.*, 2003) et permet ainsi d'améliorer la résolution géométrique des images multispectrales (Virk, King, 2006). Les nuages et les ombres ont été masqués en ramenant leurs valeurs radiométriques à une valeur nulle pour éviter les confusions (Selleron, Panapitukkul, 1996). Ce processus altère évidement la réflectance du pixel (Robin, 2002) mais, dans le contexte des Comores où la taille des surfaces est très réduite, elle est indispensable.

La seconde phase de traitement consiste à extraire des groupes de pixels homogènes en proposant une labellisation automatique ou semi-automatique des régions ou des pixels de l'image correspondant à des classes thématiques, ici des classes d'occupation du sol. Pour ce faire, il existe différents processus dits de classification. Nous avons appliqué la méthode OBIA (Object-based Image Analysis : analyse d'image orientée-objet). Cette approche permet de regrouper les pixels en objets ayant des caractéristiques relativement homogènes (selon leur valeur spectrale, leur texture, leur géométrie) (Benz *et al.*, 2004). Ce type de classification est particulièrement adaptée à la Haute et à la Très Haute Résolution Spatiale (HRS/THRS) (Blaschke, 2010) donc à nos images SPOT5 fusionnées. Ce traitement des images a été réalisé avec le logiciel eCognition (eCognition Developer 9.03, © 2014 Trimble Germany GmbH). Sept classes ont été extraites par la production de règles d'aggrégation (Tableau 9). Il s'agit de l'urbain, des sols nus, de la végétation herbacée, de la végétation arbustive, de la végétation arborée, des mangroves et de l'eau.

Tableau 9 : Description des classes d'occupation de sol selon LCCS

Classes d'occupation du sol	**Descriptions**
Urbain	Zones bâties et zones d'aménagements artificiels.
Végétation arborée	Zones forestières humides de haute altitude et zones forestières de basse altitude. Ces dernières sont aussi des zones de forêt dégradée.
Végétation arbustive	Classe moyenne entre les végétations forestières et les végétations herbacées. Elle regroupe les savanes arbustives, les fourrés arbustifs et des zones buissonneuses.
Végétation herbacée	Plaines herbeuses (domination par des graminées et des arbustes). Ce sont surtout les zones de prairies.
Mangrove	Forêts de zones côtières, qui comportent des palétuviers.
Eau	Eaux continentales et eaux maritimes.
Sols nus	Affleurements rocheux issus des laves volcaniques, des roches mais aussi des sols érodés.

Les cartes d'occupation du sol ont été évaluées en comparant avec des relevés de terrain et en calculant des matrices de confusion. Ceci permet de connaitre le degré d'exactitude des cartographies d'occupation du sol (Foody, 2002). Lors de nos missions de terrain sur les trois îles, une base de connaissance sur le terrain a été constituée. Elle est composée de 755 points (coordonnées enregistrées avec un GPS) qui visent à représenter de manière relativement homogène les 7 classes.

L'évaluation de la précision de la classification est basée sur le calcul de la précision globale et de l'indice Kappa. Avec une précision supérieure à 75 %, la classification de l'occupation du sol est jugée satisfaisante (Foody 2002). Ces cartes d'occupation du sol nous ont ensuite permis de calculer plusieurs indicateurs dont la part de chaque classe d'occupation par district sanitaire (% de surface de chaque classe d'occupation par rapport à la surface du district).

3.1.2.2 Analyses spatiales et statistiques

La cartographie de l'incidence du paludisme entre 2010 et 2014 a été réalisée avec le logiciel QGIS (Cf chapitre 2, partie 2.2.2). Cette cartographie a servi de support à l'analyse descriptive des cas et des incidences de paludisme mensuels et annuels.

Ces données épidémiologiques sont complétées par les données environnemetales citées ci-dessus : indices de végétation moyen par année, type d'occupation du sol. Ceci nous permet de disposer d'une base de données originale pour appréhender l'influence du contexte environnemental sur le paludisme. Cette base de donnée nous à permis d'effectuer des analyses bivariées et multivariées pour trouver les relations entre les facteurs environnementaux et l'incidence du paludisme. Nous avons d'abord mesuré les corrélations par paires entre les facteurs environnementaux et l'incidence du paludisme des districts sanitaires. Nous avons réalisé des analyses en composantes principales (ACP) pour comprendre les relations entre les facteurs environnementaux et identifier des groupes de variables corrélées. Pour chacun de ces groupes, nous avons choisi la variable la plus fortement associée (d'après le ratio du test de vraisemblance) pour la modélisation multivariable ultérieure. Nous avons également vérifié que les variables sélectionnées avaient des coefficients de corrélation par paires entre -0,8 et 0,8, afin d'éviter la multicolinéarité. Ensuite, nous avons construit une modélisation de type régression linéaire par élimination en amont pour voir si l'incidence du paludisme pouvait être modélisée à partir de ces indices

environnementaux (McCullagh, 1984). Nous avons sélectionné les meilleurs modèles sur la base du critère d'information Akaike (AIC). Pour les modèles finaux, nous avons vérifié l'absence de colinéarité des variables en calculant les facteurs de variance-inflation (VIF, qui sont acceptables si la racine carrée du VIF est inférieure à 2) (Monette G, 1992).

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 3.2.5 (R. Core, 2017). L'environnement R-Studio a été utilisé afin de faciliter l'utilisation du langage R (Racine, 2012).

3.1.3 Résultats

3.1.3.1 Occupation du sol

La cartographie de l'occupation du sol obtenue (Figure 51) présente une précision globale de 90,4 % à Anjouan (Kappa = 88,8 %, IC [0,83-0,94]), de 88,4 % à Mohéli (Kappa = 86,5 %, IC [0,81-0,92]) et de 80,6 % à la Grande Comore (Kappa = 77,3 %, IC [0,73-0,81]). La classification de l'occupation du sol est globalement très satisfaisante sur l'ensemble des îles (Tableaux 10, 11 et 12). La végétation arborée est la couverture végétale dominante à Mohéli (56 %) dans l'ensemble des districts sanitaire (+50 %) et à la Grande Comore (45 %) notamment dans les districts autour du versant de la montagne du Kartahala : Hambou (81 %), Mbadjini Ouest (79 %), Centre (51 %) et Mbadjini Est (43 %). À Anjouan, la végétation arbustive est dominante dans la majorité des districts sanitaires (+40 %) sauf le district de Pomoni où la végétation arborée domine à 72 %. La végétation herbeuse est dominante sur certains districts sanitaires comme à Oichili Dimani (51 %), Domoni (49 %), Hamahamet Mboinkou (40 %) et Tsembehou (36 %). L'habitat désigné sur la carte par l'urbain (même si le terme est impropre car il comporte aussi des zones bâties rurales ou isolées) ne représente qu'une fine proportion de l'occupation : 17 % à la Grande Comore, 5 % à Anjouan et 1,3 % à Mohéli. Les districts comprenant les capitales des îles sont logiquement les plus urbanisés, comme le district du Centre (3 %), de Mutsamudu (2,5 %) et de Fomboni (1,2 %).

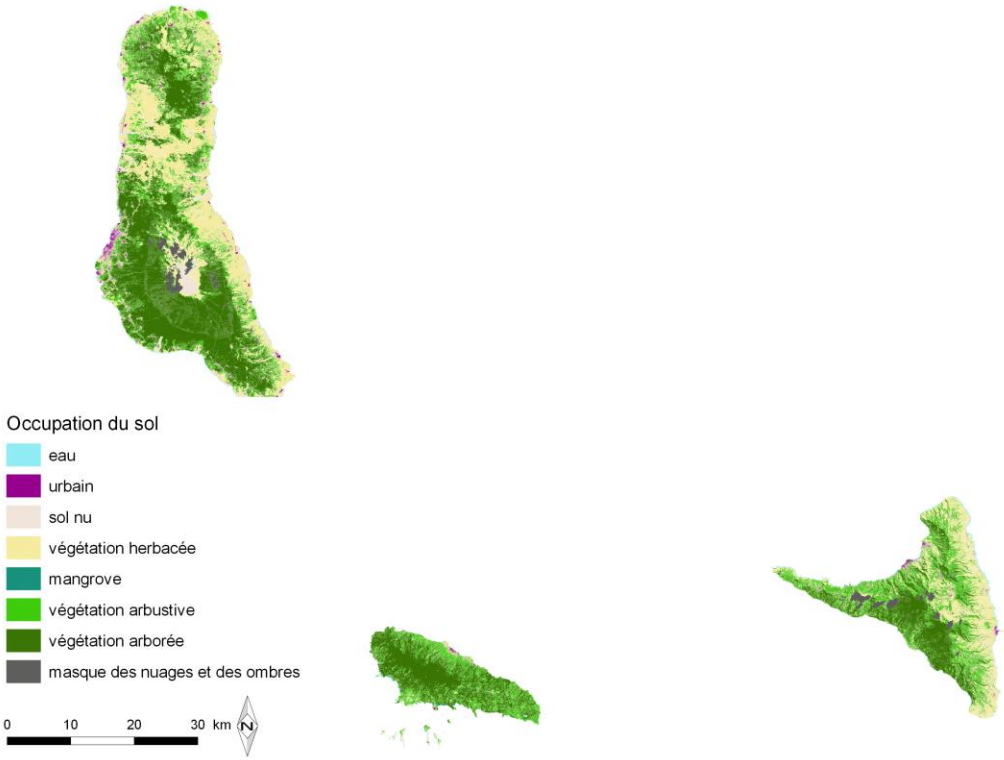


Figure 51 : Cartographie de l'occupation du sol des trois îles de l'Union des Comores.

Tableau 10 : Matrice de confusion de la cartographie de l'occupation du sol de la Grande Comore

Classes	Urbain	Végétation arborée	Végétation arbustive	Végétation herbacée	Mangrove	Sol nu	eau	Total	Précision du producteur
Urbain	44	0	0	0	0	6	0	50	88%
Végétation arborée	0	50	0	0	0	0	0	50	100%
Végétation arbustive	1	13	21	13	0	1	0	49	**43%**
Végétation herbacée	0	8	8	34	0	0	0	50	68%
Mangrove	0	5	2	0	36	4	0	47	77%
Sol nu	3	0	0	0	0	43	0	46	93%
Eau	0	0	0	0	0	2	46	48	96%
Total	48	76	31	47	36	56	46	340	
Précision de l'utilisateur	92%	66%	68%	72%	100%	77%	100%	**80,6%**	

Tableau 11 : Matrice de confusion de la cartographie de l'occupation du sol de Mohéli

Classes	Urbain	Végétation arborée	Végétation arbustive	Végétation herbacée	Mangrove	Sol nu	eau	Total	Précision du producteur
Urbain	28	0	0	0	0	2	0	30	93%
Végétation arborée	0	28	2	0	0	0	0	30	93%
Végétation arbustive	0	5	23	1	0	0	0	29	79%
Végétation herbacée	2	0	3	21	0	3	0	29	72%
Mangrove	0	0	0	0	30	0	0	30	100%
Sol nu	2	0	0	3	0	24	1	30	80%
Eau	0	0	0	0	0	0	29	29	100%
Total	32	33	28	25	30	29	30	207	
Précision de l'utilisateur	88%	85%	82%	84%	100%	83%	97%	**88,4%**	

Tableau 12 : Matrice de confusion de la cartographie de l'occupation du sol d'Anjouan

Classes	Urbain	Végétation arborée	Végétation arbustive	Végétation herbacée	Mangrove	Sol nu	eau	Total	Précision du producteur
Urbain	28	0	0	0	2	0	0	30	93%
Végétation arborée	0	24	5	0	0	0	0	29	83%
Végétation arbustive	1	0	26	3	0	0	0	30	87%
Végétation herbacée	0	0	2	26	0	1	0	29	90%
Mangrove	0	1	0	0	28	1	1	31	90%
Sol nu	0	0	0	3	0	26		29	90%
Eau	0	0	0	0	0	0	30	30	100%
Total	29	25	33	32	30	28	31	208	
Précision de l'utilisateur	97%	96%	79%	81%	93%	93%	97%	**90,4%**	

3.1.3.2 Corrélation et régression linéaire

L'incidence du paludisme est significativement corrélée au pourcentage de zones dites urbanisées à l'échelle des districts sanitaires, à la Grande Comore ($r=0,88$, $p<0,05$). Cette corrélation n'existe pas une fois qu'on exclut le district du Centre (Moroni). A Anjouan, une corrélation significative et négative est identifiée entre l'incidence et la moyenne du NDVI ($r=-0,76$, $p<0,05$). Seule la végétation arborée est significativement corrélée à l'incidence à Mohéli (Table 13). L'urbain et la moyenne du NDVI sont significativement corrélés à l'incidence à l'échelle des districts de l'ensemble des îles. Mais encore, l'exclusion du district du Centre rend la corrélation avec la part des zones urbanisées non significative. Nous nous sommes permis d'exclure le district du Centre dans les analyses pour trois raisons. Premièrement, c'est le plus large district de toutes les îles avec 284,32 km^2 soit 4 fois la

superficie du plus petit district de la Grande Comore (Hambou) et 14 fois pour celui d'Anjouan (Tsembehou). Ce district a la plus large couverture urbaine 3 % alors que les autres sont à moins de 2 % excepté Mutsamudu (2,5 %). En dernier lieu, la moyenne de l'incidence du paludisme durant la période 2010-2014 a dépassé 20 000 cas pour 100 000 habitants alors que les autres n'ont pas atteint 10 000 cas pour 100 000 habitants.

Tableau 13 : Coefficients de corrélation significatifs entre les variables environnementales et l'incidence du paludisme à l'échelle des districts sanitaires

îles	**échelle district**	**variables**	**r**	**RR**	**p-value**
Grande Comore	tous	urbain	0,86	0,75	0,0114 *
Anjouan	tous	moyenne NDVI	-0,76	0,57	0,0467 *
Mohéli	tous	végétation arborée	0,99	0,99	0,0309 *
toutes îles	tous	urbain	0,56	0,31	0,0191 *
	tous	moyenne NDVI	-0,52	0,27	0,03027 *
	tous (excepté le Centre)	moyenne NDVI	-0,53	0,28	0,0314 *

Un modèle de régression linéaire multiple a été réalisé à la Grande Comore en excluant la végétation forestière, fortement corrélée avec la végétation herbacée ($r=-0,91$, $p<0,05$), et la végétation herbacée, fortement corrélée avec la végétation arbustive ($r=0,85$, $p<0,05$). La végétation arbustive a été plus corrélée à l'incidence que les deux autres variables. Aucun modèle de régression multiple n'a pu être établi, seule la part des zones urbanisées restant dans un modèle simple. À Anjouan, la végétation arborée a été éliminée du modèle de régression multiple, car elle était corrélée négativement et fortement avec la végétation herbacée ($r=-0,85$, $p<0,05$) et a été aussi faiblement corrélée à l'incidence du paludisme. Un modèle est établi à Anjouan sur la base de la moyenne du NDVI, de la végétation herbacée et des sols nus (Tableau 14).

Pour le modèle de régression linéaire multiple sur l'ensemble des îles, nous avons exclu la végétation arborée corrélée négativement à la part des zones urbanisées ($r=-049$, $p<0,05$) et que les zones urbanisées ont été fortement corrélées à l'incidence. Un modèle de régression linéaire multiple a pu être établi avec les zones urbaines, la moyenne de NDVI et la végétation arbustive. Toutefois, si on exclut le district du Centre, seule la moyenne de NDVI est retenue dans un modèle simple.

Tableau 14 : Résultats des régressions linéaires multiples entre les variables environnementales et l'incidence du paludisme à l'échelle des districts sanitaires

îles	**échelle district**	**variables**	**Estimate**	**Std.Error**	**t-value**	**p-value**
Grande Comore	tous (p-value=0,062)	(Intercept)	754,70	12516,20	0,060	0,9574
		urbain	7309,10	1599,90	4,569	<0,05
Anjouan	tous (p-value<0,05)	Intercept)	26405,71	3088,88	8,549	<0,05
		moyenne NDVI	-38849,41	4006,11	-9,698	<0,05
		végétation herbacée	140,27	23,07	6,080	<0,05
		sol nu	-416,38	72.98	-5,705	<0,05
toutes îles	tous (p-value<0,05)	(Intercept)	23721,96	8830,44	2,686	<0,05
		urbain	3677,91	1468,82	2,504	<0,05
		moyenne NDVI	-27401,79	12188,05	-2,248	<0,05
		végétation arbustive	-170,60	76,27	-2,237	<0,05
toutes îles	tous (excepté le Centre) (p-value=0,138)	(Intercept)	19615,99	5520,91	3,553	<0,01
		moyenne NDVI	-21654,56	7623,29	-2,841	<0,05

3.1.4 Discussion

L'utilisation des images à haute résolution spatiale (Spot 5 à 2,5 mètres) a permis d'obtenir des cartographies de l'occupation du sol relativement fiables de ces petits territoires insulaires, selon les valeurs des indices de Kappa. Ces cartographies donnent la possibilité de mettre en évidence quelques relations entre l'environnement et le paludisme à l'échelle des districts sanitaires et des îles. L'analyse spatiale révèle des corrélations significatives entre certains facteurs environnementaux et l'incidence du paludisme dans toutes les îles. Elle confirme l'association entre la part des zones bâties et l'incidence du paludisme à la Grande Comore. L'incidence du paludisme a toujours été très élevée dans le district urbain du Centre, le plus peuplé et le plus urbanisé avec la capitale Moroni. Pourtant, il n'y a pas tant de citernes dans ce district que dans les autres zones rurales (Commissariat au Plan, 2014), les citernes étant décrites comme les principaux gîtes larvaires. Il n'y a probablement pas de lien direct de cause à effet entre l'urbanisation et l'incidence du paludisme. S'agit-il alors d'un paludisme urbain dans cette zone géographique ? Donner une réponse affirmative à cette question serait inapproprié en se basant uniquement sur cette étude, sachant que la définition d'un paludisme urbain est un challenge, car plusieurs paramètres doivent être pris en compte (Wilson *et al*., 2015). Selon Wilson en 2015, il faut confirmer qu'il s'agit d'une transmission urbaine par la surveillance métrique du paludisme chez les humains, la surveillance

entomologique et la surveillance génétiques et parasitologiques. Il faut sans doute chercher d'autres facteurs que les citernes pour expliquer le maintien d'un paludisme élevé dans cette zone urbaine. L'association du paludisme et l'urbanisation a été observée à Dar es Salam en Tanzanie (Wang *et al.*, 2006) et dans d'autres pays d'Afrique subsaharienne (Robert *et al*., 2003). Des travaux ont déjà montré un lien entre le paludisme en milieu urbain et plusieurs facteurs sociodémographiques notamment la densité des populations des jeunes de moins de 5 ans (Ferrão *et al*., 2016) et les fermes agricoles dans le tissu urbain (Matthys *et al*., 2006). Le type de résidence a été décrit comme un facteur de risque déterminant pour le paludisme chez les enfants de moins de 5 ans au Malawi (Chitunhu, Musenge, 2016). D'autres facteurs socio-environnementaux, notamment le niveau de vie des ménages ou la proximité aux sources d'eau, ont été associés au paludisme urbain à Yaoundé (Ngom, Siegmund, 2015). Ces facteurs peuvent être observés à Moroni où habitent toutes les catégories de la société comorienne des plus riches aux plus pauvres. Des réponses sont peut-être aussi à chercher du côté de la mobilité des populations, les populations urbaines étant plus motorisées et les plus susceptibles de se déplacer loin.

À Anjouan, l'analyse de régression linéaire multiple met évidence un lien entre le paludisme et trois variables environnementales : l'incidence diminue avec la moyenne du NDVI et la proportion de sols nus et augmente avec la proportion de végétation herbacée. Ces facteurs environnementaux caractérisent les milieux écologiques des vecteurs du paludisme à Anjouan. *Anopheles funestus* est un vecteur du paludisme observé uniquement à Anjouan et à Mohéli dans les marécages herbeux, les prairies et les rizières (Blanchy *et al*., 1987 ; 1999). Ces marécages, ces rizières ou ces végétations herbeuses sont favorables au développement des gîtes par leur capacité à retenir l'eau et donc à la persistance du paludisme. *Anopheles gambiae* est observé surtout dans les ruisseaux ou les estuaires obstrués par un cordon littoral de sable qui caractérisent surtout l'environnement côtier de l'île d'Anjouan (Blanchy *et al*., 1987 ; 1999). Or, les indices de végétation élévés caractérisent plutôt les zones forestières situées en haute altitude. La stratification du paludisme en fonction de l'altitude à Anjouan a déjà été décrite par Blanchy en 1999. Une étude sur la distribution des vecteurs du paludisme (*A. gambiae*, *A. arabiensis* et *A. funestus)* par rapport aux facteurs météorologiques, au NDVI et à l'altitude a montré que la distribution d'*A. gambiae* et d'*A. funestus* n'était pas dépendante du NDVI (Kelly-Hope *et al*., 2009). La présence d'une ville ou d'un village de grande taille et la moyenne du NDVI permettre de prédire l'incidence du paludisme dans

l'ensemble des îles à l'échelle des districts. Toutefois, l'exclusion du district du Centre laisse apparaître un modèle simple basé sur la moyenne annuelle du NDVI.

Conclusion

Le paludisme a bien reculé grace au traitement de masse et peu de facteurs environnementaux à l'échelle des districts sanitaires sont associés avec le paludisme. La cartographie de l'occupation du sol sur l'ensemble des îles a toutefois permis de mettre en évidence quelques relations entre le paludisme et les facteurs environnementaux à l'échelle des districts sanitaires : la moyenne de NDVI et la végétation herbacée à Anjouan, la végétation arborée à Mohéli et l'urbain à la Grande Comore. Cette variable « urbaine » est attirée par le poids du district du Centre qui est quatre fois plus étendu (284,32 km^2) que le plus petit district de la Grande Comore (Hambou). Ce lien n'explique pas un effet de causalité et ne détermine pas la variation spatiale du paludisme entre les districts sanitaires. Il est lié à un niveau très élevé de paludisme dans ce district de la capitale comparé aux autres districts. Cette échelle reste petite et faible pour des analyses robustes sur l'identification des facteurs favorables à la transmission du paludisme en Union des Comores et ce surtout à la Grande Comore. Nous avons donc envisagé une étude à une plus grande échelle géographique (les villages) pour voir si d'autres relations avec l'environnement peuvent être identifiées.

3.2 Paludisme et environnement : recherche d'indicateurs paysagers spécifiques de sa répartition dans les villages de Grande Comore

Cette partie fait l'objet d'un article soumis dans un numéro spécial "Precision Infectious Disease Epidemiology" édité par Antoine Flahault dans la revue Journal of public Health and Emergency.

Changing patterns of malaria in Grande Comore after a drastic decline: importance of fine-scale spatial analysis to inform future control actions

Artadji Attoumane[1], Rahamatou Silai[2], Affane Bacar[2], Eric Cardinale[3], Gwenaëlle Pennober[1], Vincent Herbreteau[1]*

[1]UMR ESPACE-DEV (IRD, UA, UG, UM, UR), Saint-Pierre, La Réunion, France

[2]Programme National de Lutte Contre le Paludisme, Ministry of Public Health, Union of Comoros

[3]CIRAD, UMR ASTRE, Sainte Clotilde, La Réunion, France

Corresponding author:

* Vincent Herbreteau. IRD, UMR Espace-Dev (IRD, UA, UG, UM, UR), Station SEAS-OI, 40 avenue de Soweto, 97410 Saint-Pierre, France. (vincent.herbreteau@ird.fr)

Running head: Spatial analysis of malaria in Grande Comore

Abstract:

Background: Malaria has long been endemic in the Union of Comoros reaching an incidence of 15,045 cases for 100,000 inhabitants in 2010 (103,670 cases). Since then, strengthened control actions based on the distribution of Long-Lasting Insecticidal mosquito Nets and mass treatment with Artemisinin Combination Therapy have reduced malaria to a low level. However, it persists more specifically in Grande Comore, where 82% of cases were diagnosed between 2010 and 2016. This situation remains a challenge for health authorities seeking to eliminate malaria in the near future. New solutions must be found, in particular by targeting transmission sites more precisely. In this context, this study aims to map malaria at the finest scale, in order to describe its spatial distribution and identify possible environmental indicators.

Methods: The National Malaria Control Programme provided the 2016 data, the first year that could be mapped at the finest scale, the level of localities (either villages, cities or urban districts). We first tested the autocorrelation of these data (with the Global Moran's I and the Anselin Local Moran's I indices) and then we tried to detect clusters (with the Kulldorff's spatial scan test). We also analysed satellite images (SPOT 5) with remote sensing techniques (Object-Based Image Analysis) to describe the landscape around villages and look for environmental indicators of malaria occurrence.

Results: In 2016, Grande Comore recorded an average incidence of 334 malaria cases per 100,000 inhabitants (1,372 cases) with spatial autocorrelation between localities, and especially among those of the Oichili Dimani health district. This health district located in the east of the island has shown particularly high incidences around Itsinkoudi that form the most-likely cluster. We identified secondary clusters in other health districts, showing that malaria remains present throughout the island in both rural and urban areas. By accurately mapping malaria cases, this study reveals a high degree of spatial and temporal heterogeneity, with possible wide variability between neighboring localities and between seasons. Landscape analysis shows that malaria incidence is correlated across the island with low altitudes, and a larger proportion of grasslands or a fewer proportion of forested areas nearby (at less than 1km around villages). More locally in the east, it is linked to larger shrub areas. These relationships could be associated to the fact that lower altitude localities are more interconnected, such facilitating malaria transmission.

Conclusions: In 2016, malaria persists in Grande Comore, showing new patterns with more cases in the eastern part of the island and the possibility of high incidences during the dry season. Precise mapping of epidemiological data and landscape analysis allow the identification of clusters and active transmission foci. They are important tools for health surveillance in order to optimize control actions on key transmission locations.

Keywords: malaria, spatial analysis, remote sensing, landscape metrics, Grande Comore.

Introduction

Malaria is a parasitic disease that remains a major cause of morbidity and mortality worldwide. In 2016, it affected 216 million people in 91 countries, mainly in sub-Saharan Africa, according to the latest WHO World Malaria Report (1). In the Comoros archipelago, located in the southeast of the African continent, between Mozambique and Madagascar, malaria is an endemic disease. The Union of the Comoros currently groups together the islands of Grande Comore (Ngazidja), Mohéli (Mwali) and Anjouan (Ndzuani) and benefits from favorable climatic and environmental conditions for malaria transmission. The first malaria deadly epidemic was reported in 1923 (2), but malaria has long been a major health problem before significant control actions were taken to limit its impact (3). The highest number of cases was reported in 2010 with a total of 103,670 cases (incidence of 15,045 for 100,000 inhabitants). This situation triggered the will to strengthen the fight to achieve its elimination during the last fifteen years. Malaria has consequently largely decreased, particularly on the islands of Mohéli and Anjouan, classified in the pre-elimination phase, and on the island of Grande Comore, classified in the control phase (4). The achievement of these results is strongly associated with mass treatment by Artemisinin Combination Therapy (ACT) performed on Moheli from 2007 to 2010 and on the other islands from 2012 to 2013 together with the distribution of Long-Lasting Insecticidal mosquito Nets (LLIN) (5-7).

The occurrence of malaria has always presented significant spatial disparities, both between the islands and within each island of the Comoros (8). Higher malaria endemicity has been observed in Grande Comore since the 1990s (8). Between 2010 and 2016, more than 82% of malaria cases were reported in Grande Comore. This reflects the persistence of *Plasmodium* parasites on this large island, despite control measures. This situation has also led to a greater research effort in Grande Comore than on the other islands, in order to characterize malaria epidemiology, vectors and parasites. Different epidemiological profiles have been described in Grande Comore according to the island's slopes and climate: malaria is hyperendemic throughout the year on the South-West slopes, hyperendemic in the rainy season and mesoendemic in the dry season on the North-West slopes and hyperendemic in the rainy season and hypoendemic in the dry season from the North to the South of the East slope (9). Lower malaria endemicity has always been observed in villages at higher altitudes (8). Using nested PCR, a recent study has identified the *Plasmodium* species responsible of malaria transmission in Grande Comore: mainly *Plasmodium falciparum* (98.11%) and in rare cases

Plasmodium vivax (1.25%) and *Plasmodium malariae* (0.62%) (10). This study also indicates spatial variation in the parasite endemicity rate with *P. falciparum* hyperendemic in the East (Mbeni region), mesoendemic in the North-East (Mitsamiouli region) and hypoendemic in the West (in the capital city of Moroni). The plasmodial parasites are mainly transmitted in Comoros by *Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus* (2) but *Anopheles funestus* is absent in Grande Comore (8).

In an insular context, the spatial variation in the level of malaria endemicity has been described as being associated with the variability in the physical environment, climate and human populations, independently of control actions (8). In Grande Comore, access to water is a major problem for rural households due to the absence of streams and rivers (11, 12). People collect rainwater in shared reservoirs that can be found in all villages or private reservoirs in some houses. These reservoirs are generally not well covered and often contribute to the development of mosquito larvae and thus to the maintenance of malaria endemicity (3, 8). *Anopheles gambiae* has then been described as an anthropogenic species in Grande Comore (2). Rainfall is also an important factor in the ecology of these mosquitoes and the spatial variations in rainfall on the island's slopes also affect mosquito densities.

After having dropped drastically to a low level, malaria has slightly increased since 2016 in Grande Comore. The persistence of malaria challenges health authorities, which are working to eradicate malaria with major control efforts already in place. They seek to understand more precisely the origin of the outbreaks, the places of persistence and to identify the factors contributing to its transmission. One way is to monitor more precisely how cases are distributed in space, *i.e.* to develop complete spatial decision support systems for disease surveillance (13). This requires both knowledge of case location and near real-time notifications of case diagnosis from doctors to the health authorities in charge of surveillance (14). On the one hand, it is generally possible to locate cases in their place of residence if the health facilities record this information and if reference maps exist at the village level. This requires electronic reporting of health data and harmonization and centralization of this data, which can come from different sources (public or private hospitals, humanitarian organisations, etc.) (15). To this end, geographical tools, more specifically geographical information systems (GIS) and geostatistical analyses, have made it possible to develop spatial disease surveillance (16-18). However, such mapping assumes that people have got sick near their place of residence. On the

other hand, real-time monitoring of case occurrence is generally more difficult because it requires rapid feedback and rapid diagnostic confirmations (19). Some projects have set up a reporting system via mobile phones to quickly report the occurrence of cases (20, 21) or control actions (22). However, these methods are difficult to implement at the country level, where spatial analyses are generally based on data that are aggregated and adjusted annually by health authorities.

A second axis to improve the spatial understanding of diseases is to study the environmental, climatic or human factors related to their distribution (23). These factors can simply be spatially correlated with the distribution of diseases without having a cause-and-effect relationship and can be used as indicators of occurrence (24). These factors may also have a direct role on pathogens, vectors or facilitate transmission to humans. Such spatial analyses also use space technology tools, *i.e.* GIS, remote sensing and geostatistics (25). Remote sensing has been increasingly used for health applications and especially malaria studies (26). Nevertheless, most of these studies used low spatial resolution images or directly pre-calculated indices such as Normalized Difference Vegetation Index from MODIS images (27). These vegetation indices have often been used as temporal indicators of seasonal fluctuations in disease (28, 29) or predictors to build malaria early-warning systems (21). Remote sensing has also been applied to study malaria ecology using high spatial resolution images to identify relationships with land cover or land use (24, 30).

The objective of this study is to implement such spatial analysis methods to clarify the epidemiology of malaria in Grande Comore, in this context of persistence and slight increase. It aims to clarify the epidemiology of malaria at the finest possible scale in order to identify outbreaks, clusters and then environmental factors. But, in such a small territory, the methodological challenge is to carry out very detailed spatial analyses: on the one hand, it is necessary to know the places of residence of the cases and, on the other hand, to obtain very high resolution environmental data.

Methods

Study area and scales

The Comorian health system is geographically organized with the islands constituting the health regions subdivided into health centres and then health districts. There are three health centres and seven health districts in Grande Comore. Generally the epidemiological data are aggregated at the level of the health structures without precision on the origin of the patients. Some data can provide

information on the location of patients at the village or city level, making it the finest scale. Malaria data are available at this scale only on Grande Comore, which was therefore chosen as the study area.

Grande Comore is the largest island (1,148 sq. km) of the Union of Comoros (Figure 1). It has a hilly landscape dominated by Mount Karthala, an active volcano that rises at 2,361 meters. The climate is tropical with two seasons: a hot and rainy season from November to April and a cool and dry season from May to October. The average temperature varies between 25 and 27°C during the warm season and between 22 and 24°C during the cool season. The average rainfall ranges from 1,500 mm to 2,000 mm during the rainy season, and from 500 mm to 800 mm during the dry season. Because of the topography and the island context, rainfall varies spatially with more water on the slopes facing the monsoon winds.

193 villages and 19 cities (or districts) were included in this study for a total of 212 locations. The capital city of Moroni is divided in 11 districts and there are eight other cities. Villages and cities are mainly located in coastal areas at less than 600 m altitude (Figure 1).

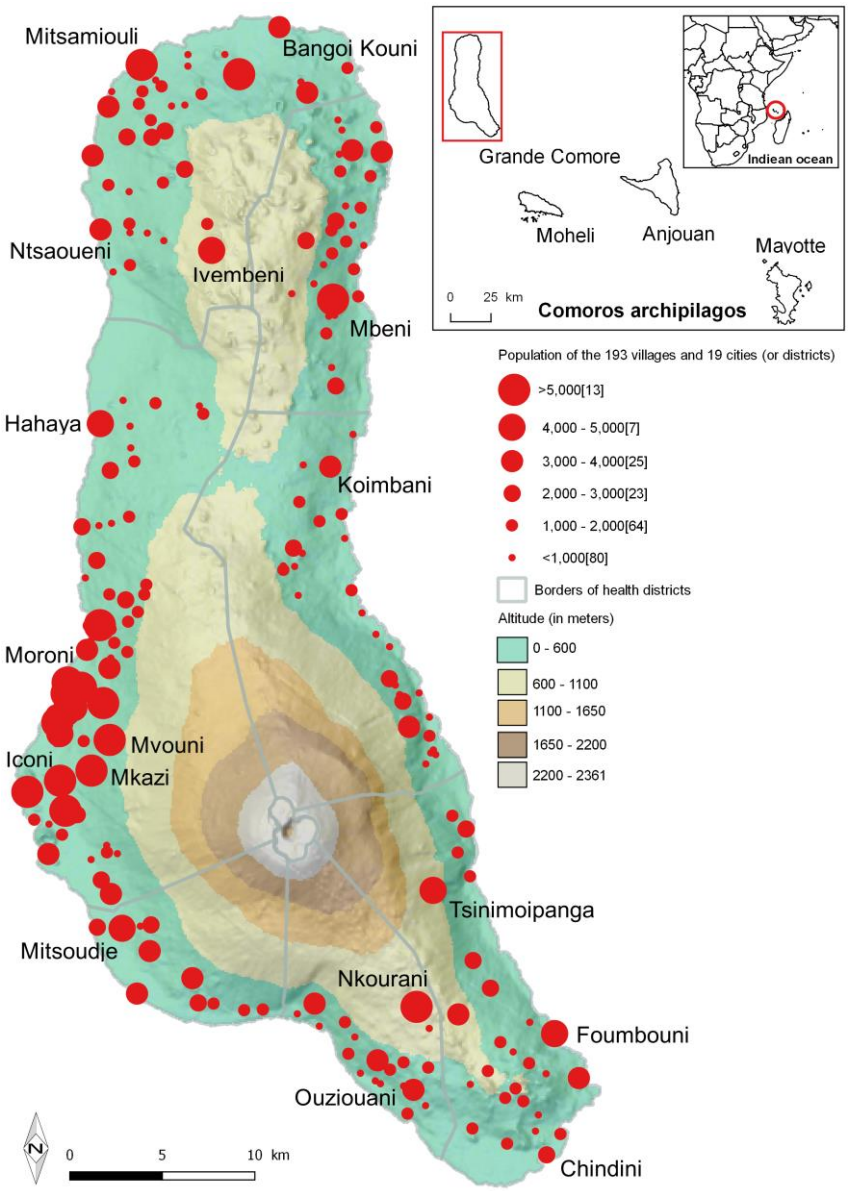


Figure 1: Location Topography Population

Epidemiological data collection

The National Malaria Control Program, called PNLP (« Programme National de Lutte contre le Paludisme de l'Union des Comores »), provided the 2016 monthly epidemiological data on malaria at the village scale. The PNLP is the national authority in charge of collecting and analyzing malaria data and of controlling the disease in the Union of Comoros. All malaria cases diagnosed in the district health centres or in the village health posts are reported to the NMCP. In addition, the NMCP has implemented a more active monitoring at the village level. In each village, a community health worker conducts a Rapid Diagnostic Test (RDT) on people presenting fever. If this test is positive, a district

health officer travels by motorcycle to the village to take a blood sample from the patient to confirm the case. If the diagnosis is confirmed, he reports the case to the NMCP by sending a message. Finally, patients who have visited a private health centre are invited to come to the NMCP to obtain free medicines, which in turn allows completing the registration of cases. Malaria data has been optimized to be more comprehensive and the 2016 dataset is the first one at the village scale.

The "Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques" (INSEED) provided projections of demographic data calculated based on the last population census (realized in 2003). These data are projected up to 2025 and are national references pending the 2017 population census. The capital city is the most populated with a total of 55,540 inhabitants in its 11 districts. The eight other cities have populations ranging from 2,848 to 8,365 inhabitants. 37% of villages have less than 1,000 inhabitants and only 6% of villages exceed 5,000 inhabitants (Figure 1).

Meteorological data

Monthly rainfall data from 2010 to 2016 were provided by the National Agency for Civil Aviation and Meteorology (Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie) of the Union of Comoros (ANACM). These data are collected at two stations at the airport (Hahaya) and Moroni.

Land cover mapping using remote sensing

We applied satellite images remote sensing techniques to describe the environment around villages by realizing a land cover / land use map of Grande Comore. SEAS-OI Station at Réunion Island (http://www.seas-oi.org) provided two Spot 5 images (© CNES - 2013, Distribution Astrium services / Spot images S.A., France, all rights reserved) acquired on May 30th 2013 (with few clouds). One image has a 2.5 meters spatial resolution in panchromatic mode and the other one a 10 meters spatial resolution in multispectral mode. We used ENVI software (v5.1) to correct geometrically the two images from topographic effects based on the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission: https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc) digital elevation model integrated into ENVI as a reference. We applied the pansharpening algorithm (Gram-Schmidt Spectral Sharpening (GSSS) to merge the two images and assign the resolution of the panchromatic image to the multispectral one. We reduced the radiometric values of clouds and shadows to zero to mask them and avoid confusion.

We performed an object-oriented classification of the images, which has the advantage of grouping pixels into objects with relatively homogeneous characteristics (regarding spectral values, texture and geometry) (31). This method is particularly adapted to such high spatial resolution images (32) to obtain homogeneous areas for each class (33). We used eCognition software (eCognition Developer 9.0.3, © 2014 Trimble Germany GmbH) to realize a supervised hierarchical classification. With this approach, we defined seven land cover / land use classes by referring to the Land Cover Classification System (LCCS) defined by the Food and Agriculture Organization (FAO). These classes are: built-up areas, bare lands, grasslands, shrubs, forests, mangroves and water areas.

For the validation of the land use map, we collected about 340 GPS locations representing each class during field surveys (about fifty observations per class). We used these observations to develop a confusion matrix between field recognition and spatial image classification. This matrix allows the calculation of an overall accuracy of the land cover / land use map and of the Cohen's Kappa index, which indicates the difference between the observed accuracy and what could be expected by chance. A map is considered as accurate when this index is over 75% (34).

Landscape metric computation

We used the land cover / land use map to calculate landscape indices around villages. We considered a maximum distance of two kilometers around villages, as it has already been assessed as the maximum distance of malaria transmission around the breeding sites of malaria vectors, the *Anopheles* mosquitoes (30, 35-37). Then we chose different buffer sizes of 1, 1.5 and 2 kilometers from the center of each village. We first calculated the proportion of each land cover / land use class within each buffer. We also measured other landscape metrics within these buffers with FRAGSTAT 4.2.1 software (38): the patch density (PD, *i.e.* the proportion of patches per 100 hectares calculated from the number of patches within each buffer in relation to the buffer area), the edge density (ED, *i.e.* the sum of the edge length of each patch, multiplied by 10,000 to convert to hectares), the splitting index (SPLIT, *i.e.* the total landscape area (m^2) squared divided by the sum of patch area (m^2) squared, summed across all patches in the landscape), the Shannon's Diversity Index (SHDI, *i.e.* the minus sum, across all patch types, of the proportional abundance of each patch type multiplied by that proportion). We finally measured the average elevation in these buffers, using the SRTM digital elevation model.

Spatial and Statistical analyses

We realized the maps and geoprocessing using QGIS software (39). We used a geometric progression with common ratio 5, as a discretization method, to map malaria incidence at the village level and define class boundaries. We performed statistical analyses using R Software version 3.2.5 (40) with R-Studio environment (41). We conducted a descriptive analysis of malaria cases monthly by village and by health district. We calculated malaria incidence for 100,000 inhabitants.

We calculated the Moran's I global index to determine the spatial autocorrelation in malaria incidence at the local scale (villages and cities), first for the whole island and second for each health district independently (42, 43). We hypothesized that the spatial distribution of malaria incidence is independent between localities. This test measures whether villages have malaria rates close to their neighbours, which would mean that spatial proximity has an impact on epidemiology and that villages are not spatially independent. We also calculated the Anselin Local Moran's I index for each locality, first within the whole island and second within each health district (44). We used the spdep package developed under R (https://github.com/r-spatial/spdep/) to calculate these two indicators. Positive values of the indices with a p-value under 0.05 indicate a spatial autocorrelation of the average incidence between villages.

We used Kulldorff's spatial scan test (45) to identify spatial clusters of malaria incidence by village. This test scans village centroids through windows to determine which one has abnormally grouped more cases than expected using the maximum likelihood method (46). The spatial scan test relates the number of cases observed to the number of suspected cases and thus determines the relative risk (RR) for each significant cluster. The calculation of the probability of p-value is determined from the Monte Carlo 999 simulations method for cluster analysis (45).

We then conducted bivariate and multivariate analyses to find relations between landscape indices and malaria incidence. We first measured pair-wise correlations between landscape indices and malaria incidence at the village scale. We realized Principal Component Analyses (PCA) to understand the relations between environmental factors and identify groups of correlated variables. For each of these groups, we selected the most strongly associated variable (based on the likelihood ratio test) for further multivariable modelling. We also verified that the selected variables had pairwise correlation coefficients between -0.8 and 0.8, to avoid multicollinearity. Then we performed backward

elimination regression modeling to see if malaria incidence can be modeled based on these environmental indices (47). For the final models, we verified the absence of collinearity of the variables by calculating the Variance-Inflation Factors (VIF, which are acceptable if the square root of VIF is less than 2) (48).

Results

Malaria incidence

In 2016, 1,372 cases of malaria were reported in half of the villages and cities (116 villages, *i.e.* 54.7%) of Grande Comore. This figure is very low compared to the very high numbers of cases recorded annually before 2014 (over 50,000 cases), and comparable to the years 2014 (2,130 cases) and 2015 (1,061 cases). This represents an average incidence of 334 cases per 100,000 inhabitants. Nevertheless, the incidence varies greatly between villages and districts (Figure 2). The first seven localities with the highest incidences are all in the eastern part of the island and of the first ten, only the seventh is in the western part (Hantsambou north of Moroni). Itsinkoudi, in the centre east, recorded the highest incidence and also the highest number of cases (217 cases, *i.e.* 7231 cases per 100,000 population), followed by Ouroveni, in the South-East (108 cases, *i.e.* 6857 cases per 100,000 population). On the eastern side of Grande Comore, Oichili Dimani health district is particularly affected by malaria in 2016 as it includes many villages with high incidences. 29% (402/1372) of cases are located in this district, but being a rural district with a smaller population, its average incidence (925 cases per 100,000 inhabitants) is three times higher than the average incidence of all villages. Nevertheless, not all localities in the district are affected since 48% have not recorded any cases. Just over a third of malaria cases come from localities of the Centre health district (491, *i.e.* 36% of cases). Since this district is the most populated with the capital city of Moroni, the average incidence per locality is lower with 235 cases per 100,000 inhabitants. In the Centre health district, the highest incidences are observed close to Moroni, in Hantsambou and some Moroni districts. Three health districts recorded particularly low incidences in their villages: Mitsamiouli Mboude district (71 cases per 100,000 inhabitants) in the North, Hambou (80) and Mbadjini Ouest (69) districts in the South-West.

Malaria occurs more in rural areas than in urban areas with an average prevalence of 356 cases per 100,000 inhabitants (1,002 cases) per village compared to 295 cases per 100,000 inhabitants (370

cases) per city. Half of the villages (51%, *i.e.* 95/193) and most of the cities (95%, *i.e.* 18/19) recorded malaria cases in 2016.

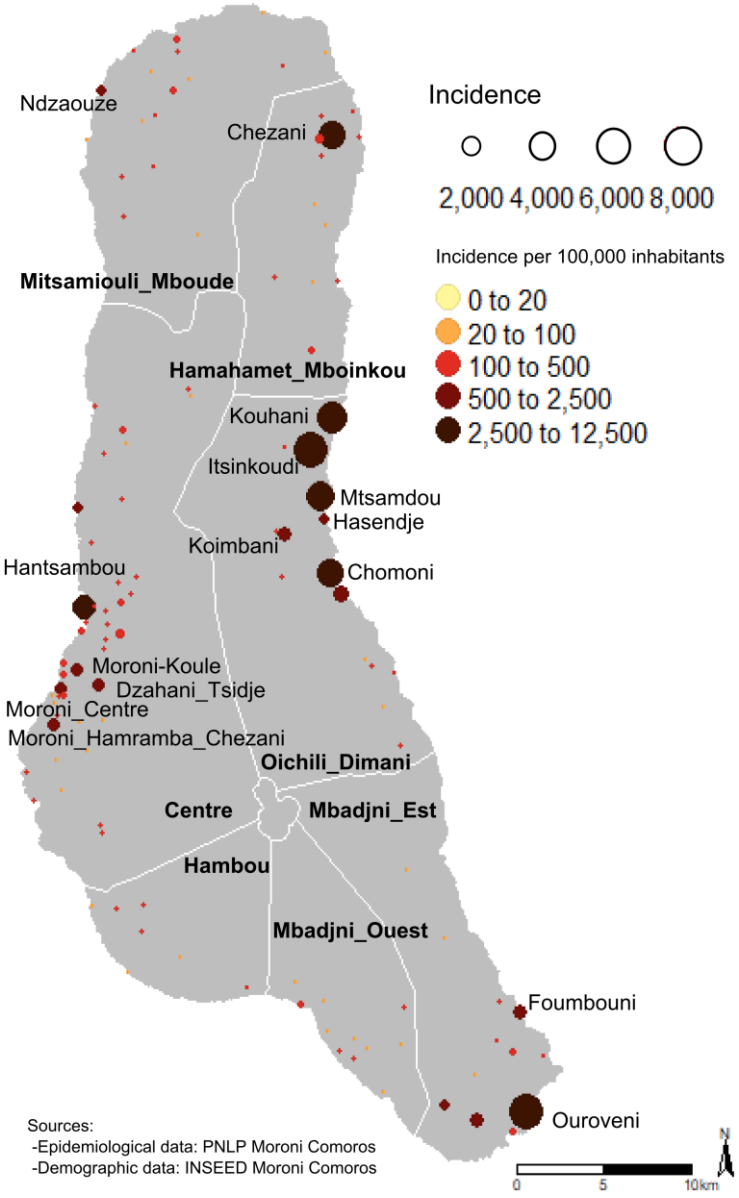


Figure 2: Malaria incidence 2016

Surprisingly in 2016, there were more malaria cases during the dry season (912 cases) than during the rainy season (459 cases) (Figure 3). The average incidence per village was 33 cases per 100,000 inhabitants in the dry season and 17 cases per 100,000 inhabitants in the rainy season. The variance test shows seasonal variation in malaria incidence across villages ($F=9.56$, $P<0.01$). At the district level, this seasonal variation in incidence by village is statistically significant only in the Centre health

district (F=16.23, P<0.0001), with 33 cases per 100,000 inhabitants in the dry season and 6 cases per 100 000 inhabitants in the rainy season.

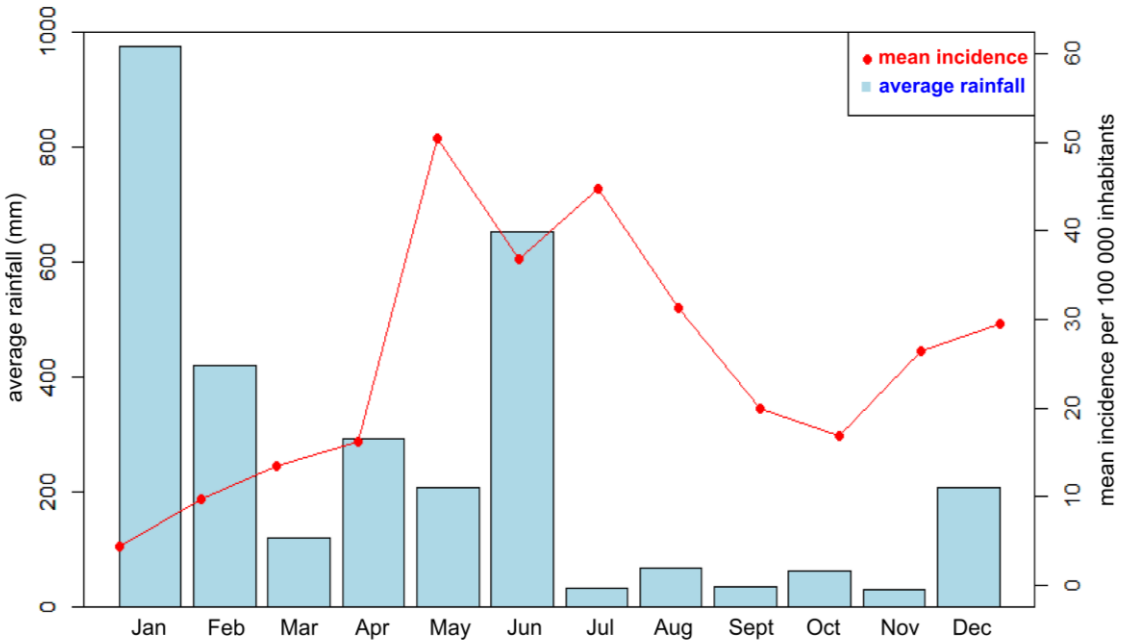


Figure 3: Monthly malaria incidence rainfall 2016

Spatial cluster analysis

The Moran's I coefficient showed the existence of a strong spatial autocorrelation of the incidence of malaria in a global way between the localities on the island of Grande Comore (I=5.49, p<0.001). Within health districts, spatial autocorrelation is only observed in the Oichili Dimani district (I=4.02, p<0.001). The Anselin Local Moran's I index is statistically significant in five villages of Oichili Dimani district: Itsinkoudi (I_i,=13.46, p<0.001), Kouhani (I_i,= 11.41, p<0.001), Mtsamdou (I_i,=6.40, p<0.001), Chomoni (I_i,=1.25, p<0.01) and Chamro (I_i,=1.44, p<0.01); and one of Mbadjini Est district: Simamboini (I_i,=0.78, p<0.01). This shows the existence of spatial influence and similarities in the average incidence between these villages and their very close neighbours.

321 Table 1: Clusters determined by Kulldorff's scanning method

Rank	Localities	Radius	Observed cases	Expected cases	ODE	RR	LLR	p-value
1	Itsinkoudi Dzahani ya Oichili Kouhani Hambou ya Oichili Mtsamdou	2.65	325	23.94	13.58	17.48	583.11	0.00001
2	Chezani	0.00	140	10.67	13.12	14.49	237.38	0.00001
3	Ouroveni	0.00	108	5.26	20.53	22.20	227.58	0.00001
4	Hantsambou	0.00	64	6.14	10.43	10.89	93.44	0.00001
5	Dzahani Tsidje Moroni Koule	1.46	199	74.35	2.68	2.96	77.45	0.00001
6	Koimbani ya Mbadjini Foumbouni	1.47	63	17.86	3.53	3.65	35.03	0.00001

322 ODE = Observed Divided by Expected, RR = relative risk, LLR = log-likelihood ratio

323

324 Kulldorff's scanning method showed congruent results, with six clusters of malaria cases over the
325 localities of Grande Comore. The most-likely cluster is in the East, in Oichili Dimani district, with five
326 villages within a radius of 2.65 km (Figure 4). The observed number of malaria cases in the primary
327 cluster is 13 times greater than expected with a relative risk (RR) of 17.48 ($p<0.001$) (Table 1). The
328 RR of the five secondary clusters was also significant, ranging from 3.65 to 22,20 (with all $p < 0.001$).
329 The first three secondary clusters have no radius, meaning that these clusters are contained within the
330 villages of Chezani in the northwest, Ouroveni in the southeast and Hantsambou in the west,
331 respectively. They recorded more than 10 times the expected number of malaria cases. The fourth
332 secondary cluster group two districts of Moroni (Dzahani Tsidje and Moroni Koule), within a radius of
333 1.46 km and a number of malaria cases twice as expected (RR = 2.96, $p<0.001$). The southeastern
334 localities of Koimbani ya Mbadjini and Fombouni form the fifth secondary cluster with a 1.47 km radius
335 and an observed number of malaria cases three times higher than expected (RR = 3.65, $p<0.001$).

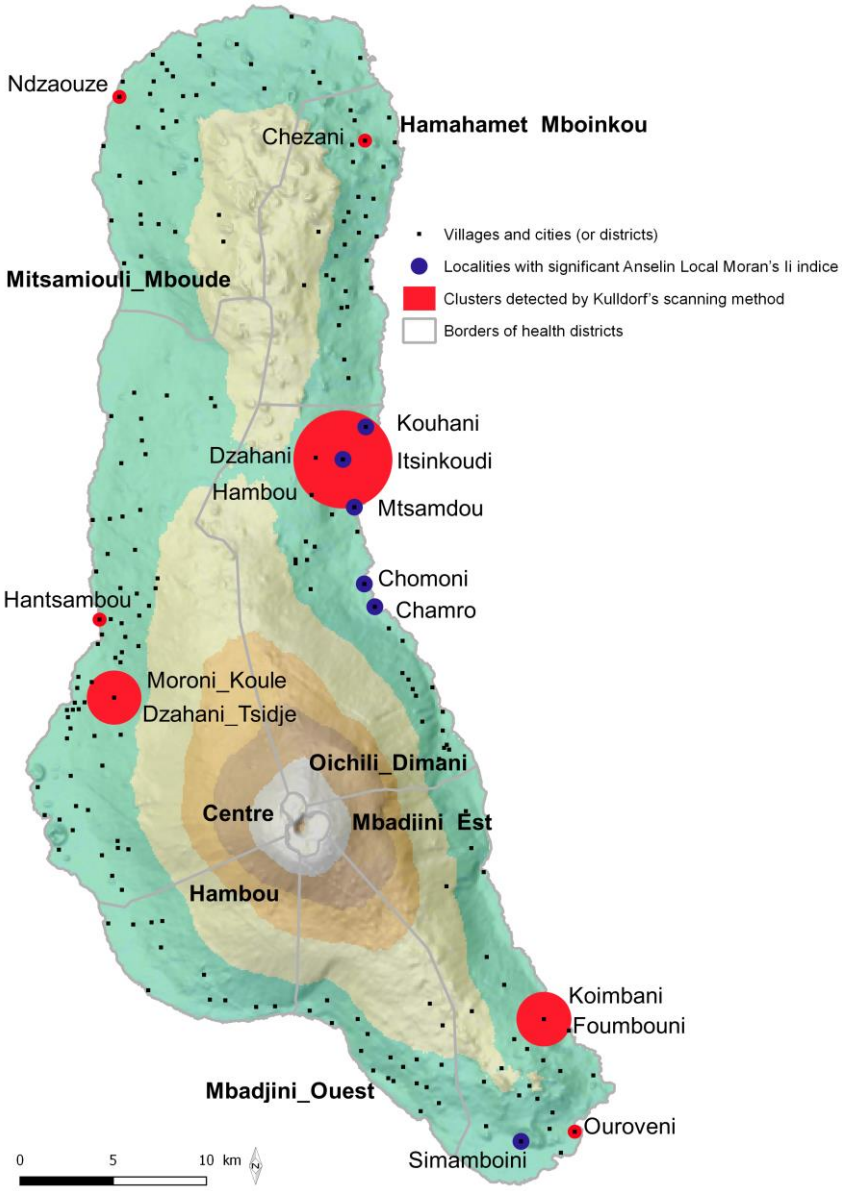


Figure 4: location malaria clusters Anselin 2016

Land cover

Spot 5 images allowed to realize a detailed land cover / land use classification for Grande Comore (Figure 5). The overall accuracy is reasonable (80.6% of correct observations), which results in a Kappa of 77.3% (95% confidence interval from 0.73 to 0.82). The lowest accuracy was obtained from forested areas (65.8%) with some confusion with shrub areas (67.7%) (Table 2). Forested areas are the dominant land cover on the island (45%) and concerns mainly the districts located on the south-west and south-east slopes of the Karthala mount: Hambou (81%), Mbadjini Ouest (79%), Centre (50%) and Mbadjini Est (43%). In the north of the island, grasslands are the most common, especially

346 in the districts located on the northeastern coast: Oichili Dimani (51%) and Hamahamet Mboinkou
347 (38%). Shrub vegetation is an intermediate class between forest and herbaceous vegetation. It covers
348 less than 25%. It is more observed in districts mainly covered by herbaceous vegetation and less in
349 forested districts. Built-up areas and bare lands represent less than 10% of Grande Comore. The
350 Central district is the most urbanized (3%) with the capital Moroni.

351 Table 2: Confusion matrix between field recognition and image classification

Class	Built-up areas	Forests	Shrubs	Grasslands	Mangroves	Bare lands	Water areas	Total	Producer precision (%)
Built-up areas	**44**	0	0	0	0	6	0	50	88.0
Forests	0	**50**	0	0	0	0	0	50	100.0
Shrubs	1	13	**21**	13	0	1	0	49	42.9
Grasslands	0	8	8	**34**	0	0	0	50	68.0
Mangroves	0	5	2	0	**36**	4	0	47	76.6
Bare lands	3	0	0	0	0	**43**	0	46	93.5
Water areas	0	0	0	0	0	2	**46**	48	95.8
Total	48	76	31	47	36	56	46	340	
User precision (%)	91.7	65.8	67.7	72.3	100.0	76.8	100.0	80.6	

352

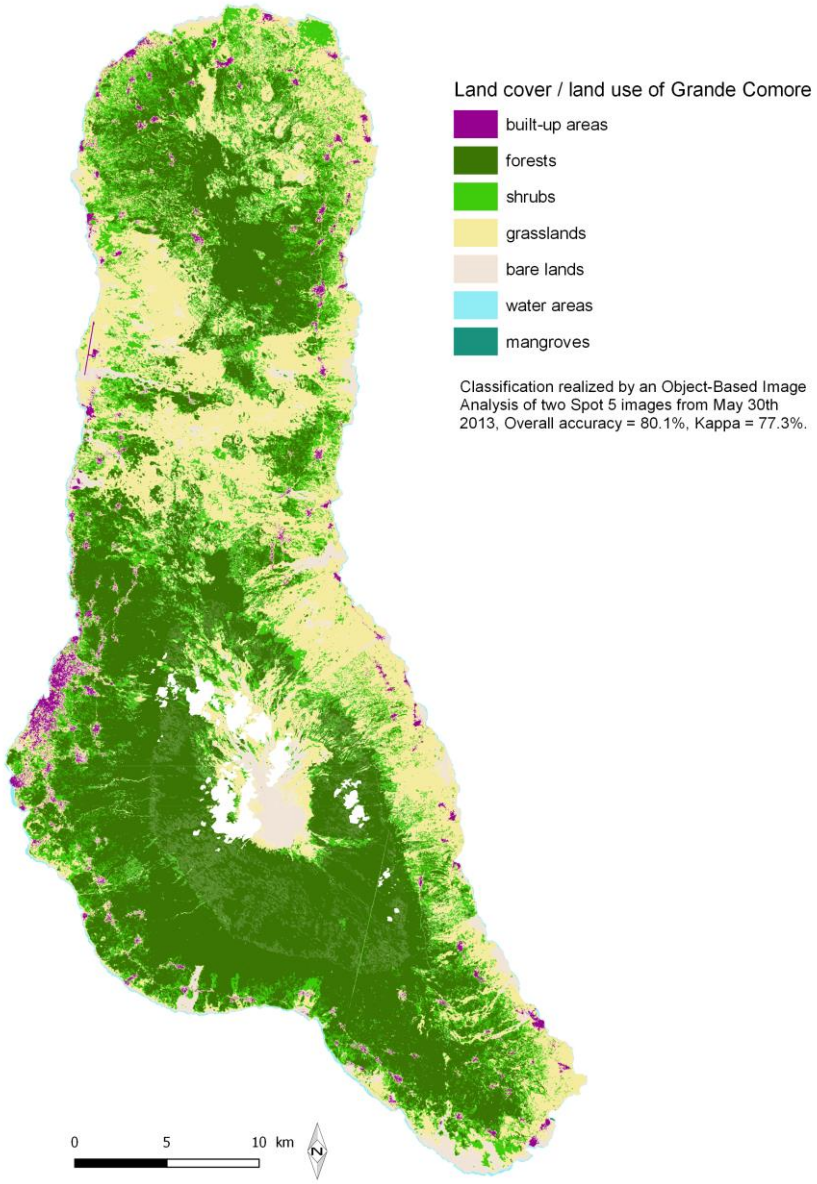


Figure 5: land cover land use Grande Comore

Statistical analyses

Malaria incidence at the village scale is significantly correlated with three environmental variables: the proportion of forests and the proportion of grasslands in the buffer zones (this applies to all three buffer sizes) and the average altitude (Table 3). For landscape indices, these correlations are strongest for small 1 km buffers: a positive correlation with grasslands ($r=0.18$, $p<0.01$) and a negative correlation with forests ($r=-0.17$, $p<0.05$). The correlation is negative with altitude, with the same value

regardless of the size of the buffer (r=-0.17, p<0.01). None of the other landscape indices are correlated to the incidence.

By looking more locally within each district, we can highlight some other correlations. In Oichili Dimani district, malaria incidence is positively correlated to the proportion of shrubs within the 1km and 2km buffers (Table 3). It is also negatively correlated to average elevation. In Centre district, it is strongly positively correlated to the patch density and edge density indices within the 1km and 1.5km buffers. In Mbadjini Est district, it is positively correlated to the proportion of bare lands within the 1km and 1.5km buffers and to built-up areas within the 1.5km and 2km buffers. In Mbadjini Ouest district, it is only positively correlated to the splitting index (SPLIT) within the 1km and 1.5km buffers. In Hambou district, it is only negatively correlated to the Shannon's index (SHDI) within the 1.5km buffers (Table 3).

Table 3: Linear regression analysis between environmental variables and malaria incidence

		1km buffer			1.5km buffer			2km buffer		
Scales	**Landscape metrics**	**r**	**RR**	**p-value**	**r**	**RR**	**p-value**	**r**	**RR**	**p-value**
Grande Comore	**Forests**	**-0.20**	**0.04**	**0.004***	**-0.15**	**0.02**	**0.028***	**-0.16**	**0.02**	**0.018***
	Grasslands	**0.17**	**0.03**	**0.009****	**0.15**	**0.02**	**0.027***	**0.14**	**0.02**	**0.038***
	Mean elevation	**-0.17**	**0.03**	**0.009****	**-0.17**	**0.03**	**0.009****	**-0.17**	**0.03**	**0.009****
Oichili Dimani district	**Shrubs**	**0.37**	**0.13**	**0.047***	0.36	0.13	0.053	**0.37**	**0.14**	**0.045***
	Mean elevation	**-0.38**	**0.15**	**0.037***	**-0.38**	**0.15**	**0.037***	**-0.38**	**0.15**	**0.037***
Centre district	**PD**	**0.37**	**0.14**	**0.002****	**0.27**	**0.07**	**0.033***	0.23	0.05	0.064
	ED	**0.30**	**0.09**	**0.016***	**0.19**	**0.03**	**0.124**	0.14	0.02	0.249
Mbadjini Est district	**Bare lands**	**0.48**	**0.23**	**0.012***	**0.48**	**0.23**	**0.011***	0.35	0.12	0.072
	Built-up areas	0.31	0.09	0.120	**0.47**	**0.22**	**0.014***	**0.43**	**0.18**	**0.026***
Mbadjini Ouest district	**SPLIT**	**0.49**	**0.24**	**0.031***	**0.57**	**0.33**	**0.009****	0.39	0.15	0.095
Hambou district	**SHDI**	-0.55	0.30	0.079	**-0.60**	**0.36**	**0.047***	-0.48	0.23	0.127

For multiple linear regressions, we removed two variables strongly correlated to others to avoid multicollinearity: grassland (highly correlated to forests (r=-0.82, p<0.001) and since grassland is less correlated to incidence than forest) and built-up areas (highly correlated to patch density (r=-0.85, p<0.001) and since built-up areas is less correlated to incidence than patch density). In all the localities over the island, no multiple regression models could be compiled. The backward elimination

regression only retains the proportion of forests in a simple model ($p<0.01$) (Table 4). If we consider only those localities that have had at least one case (116 localities), we obtained a model based on forest proportions and patch density. If we look at the villages more locally, we obtained different models. When considering the three eastern district (Hamahamet Mboinkou, Oichili Dimani and Mabdjini Est, for a total of 83 localities), the backward elimination regression keeps the proportion of forests and shrubs to model incidence. Within these districts, if we focus only on localities having only one case (39), we found only the average elevation as correlated to incidence. Finally, when focusing on Oichili Dimani district (29 localities), the multiple linear regression allows to predict malaria incidence from the proportion of shrubs and the average elevation (Table 4).

Table 4: Results of multiple linear regression at different scales

Scales of model (number of villages) (p-value of the model)	**Variable**	**Estimate**	**Standard Error**	**t-value**	**p-value**
All villages (212) (p<0.005)	(Intercept)	543.706	107.001	5.081	<0.001
	Forests	-7.267	2.509	-2.896	<0.005
All villages with cases (116) (p<0.01)	(Intercept)	1344.344	318.950	4.215	<0.001
	Forests	-13.604	4.357	-3.122	<0.005
	Patch density	-1.756	1.124	-1.563	0.121
Eastern districts (83) (p<0.005)	(Intercept)	981.856	236.323	4.155	<0.001
	Forests	-9.174	3.023	-3.035	<0.001
	Shrubs	-15.341	7.248	-2.117	<0.05
Eastern districts with cases (39) (p<0.05)	(Intercept)	2178.311	505.071	4.313	<0.001
	Average elevation	-4.565	1.785	-2.557	<0.05
Oichili Dimani District (29) (p<0.001)	(Intercept)	1092.500	544.141	2.008	0.0552
	Shrubs	124.153	26.408	4.701	<0.001
	Average elevation	-10.248	2.144	-4.779	<0.001

Discussion

Mapping a disease at the locality level allows to identify areas of over- or under-incidence and to see if there are spatial correlations between localities or with environmental factors. Here, this study reveals first of all that the Eastern region is particularly affected by malaria with several distinct clusters. The autocorrelation analyses also show a strong spatial autocorrelation overall on the island (through the calculation of Moran's I global index), which reflects similar epidemiological situation between close villages or districts. This is especially the case in Oichili Dimani district, where was detected the most-likely cluster with Kulldorff's scanning method. The highest Anselin Local Moran's I index was found in Itsinkoudi of Oichili Dimani district and followed by four other villages of the same district (Kouhani,

Mtsamdou, Chomoni and Chamro). Looking at the monthly occurrence of cases, we can see the important role of the village of Itsinkoudi, which not only has the highest incidence but is also the first to report a large number of cases (Figure 6). The occurrence of cases in Kouhani starting in May and then in Mtsamdou in June could be directly linked to this village of Itsinkoudi. A similar pattern is observed in Chomoni with an increase of cases starting in May. The geographical location of Itsinkoudi may explain this role in the transmission of malaria to other villages through population mobility. Itsinkoudi is the most populated city and is located at the intersection of the roads linking the other villages (at less than 3 kilometers). 1.5 kilometers further west of Itsinkoudi and therefore at a higher altitude (420 metres against 170 metres for Itsinkoudi), is the village of Dzahani Ya Oichili, which recorded only one case of malaria in 2016. This village is geographically isolated, with a direct connection to Itsinkoudi only via a 2.1 km trail or, alternatively, by road, via the village of Hambou for a total distance of 5.5 km. Thus, we can hypothesize that the village of Dzahani Ya Oichili has recorded few cases, as it is less connected to Itsinkoudi, despite a short distance “as the crow flies”, but difficult trips for the villagers. In the Centre health district, Moroni Koule district and Dzahani Tsidje village form a significant cluster. The monthly observation of cases also confirms the synchronicity of the increase starting in May (Figure 7). Further north on the main road, the village of Hantsambou had an increase in cases over the same period, but this was not the case for villages located between.

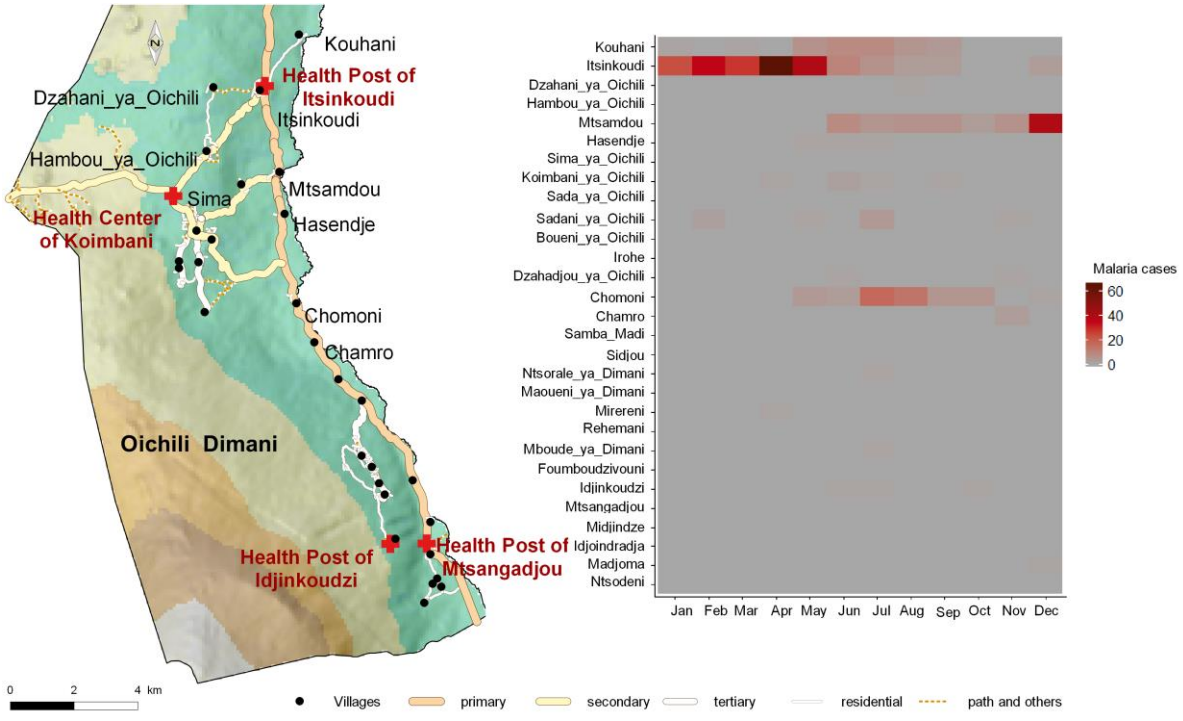


Figure 6: Monthly malaria cases Oichili Dimani 2016

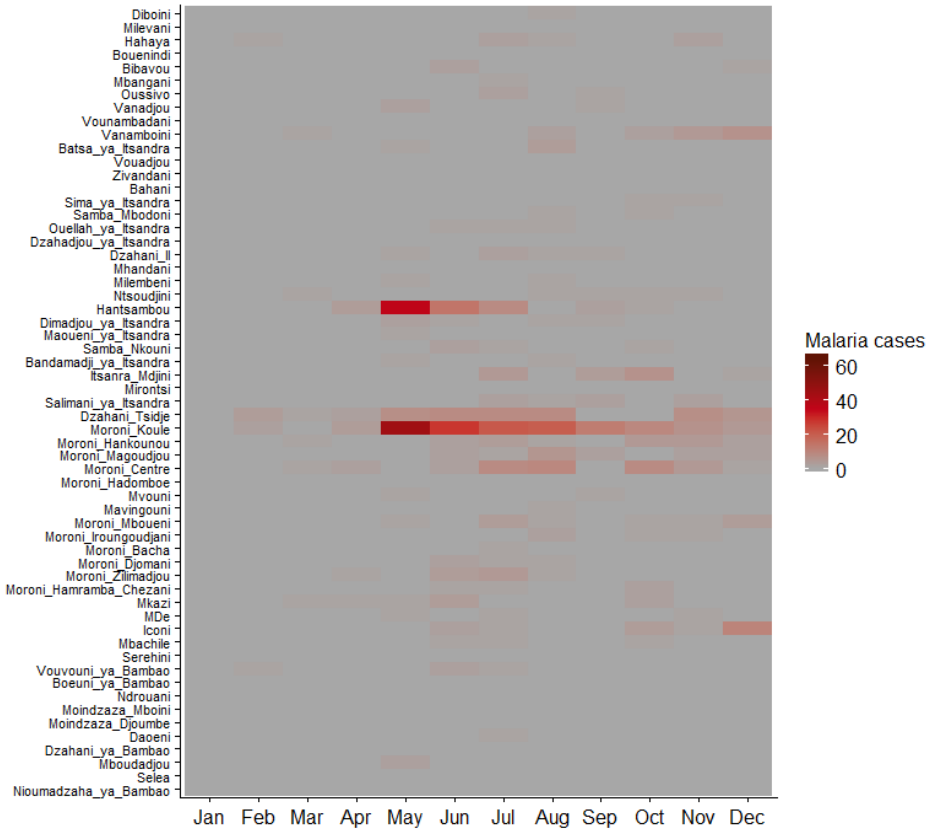


Figure 7: Monthly malaria cases Centre 2016

A surprising result is the higher number of cases recorded during the dry season in 2016, which is contradictory with the patterns observed before 2014, where malaria is hyperendemic during the rainy season (Figure 4). The transmission of malaria in Grande Comore is usually amplified by rainfall (3) and therefore malaria is seasonal and can present geographical particularities according to the variations of the climate on the island (9). The meteorological data to which we have had access are very limited with only two stations in the west of the island, near Moroni. Rainfall data on other sides of the island would help to refine these observations. Nevertheless, the 2016 values in Moroni remain within the known seasonal averages in the Comoros. The distinction of the seasons is made on a simple dichotomy according to the months. However, these data indicate that the study's wet season (November 2015 to April 2016) had rainfall similar to the 2010-2016 average (2,160 mm compared to

2,072 on average). During this wet season, the number of cases remained very low, as it has been since 2014, under the effect of control actions. Thus, the significant increase in incidence in May 2016 is surprising, while rainfall remained low in March, April and May. In June 2016, the unusual high rainfall (with 653 mm, representing 3.5 times the 2010-2016 average) may have contributed to maintain high prevalences from June to August. But, looking at the monthly data, we can see great temporal variation from one village to another, as in Itsinkoudi, which recorded more cases during the wet season and in Kouhani and Mtsamdou where it was the opposite. This focus on local data shows the importance of having spatially accurate epidemiological data and that aggregation at administrative scales can hide local disparities by using averaged data.

Autocorrelation analyses allow the detection and localization of clusters without however explaining their presence. The existence of these clusters suggests transmissions between the localities of each cluster and therefore that these localities are connected with mobile populations. These clusters can also reflect favorable and similar environmental conditions in the localities of the same cluster, due to their proximity. The results of the spatial analysis show trends in relation to environmental factors but they are not very conclusive in describing favorable environmental conditions. The distribution of malaria cases shows high incidences on both sides of the island in both urban and rural localities. Across the island, the environmental analysis highlights a correlation link with three environmental variables: malaria decreases with altitude and forested areas and increases with grasslands. These three variables are correlated with each other: forest cover being greater at higher elevations to the detriment of herbaceous areas. The variable grasslands had to be removed from the multivariate analyses for this reason. These analyses also identified through multiple regressions either forests or average altitudes as important predictive factors. However, these statistical relationships do not reflect a cause-and-effect relationship but rather characterize places that are conducive to transmission. The higher incidences of malaria at lower elevations can also be associated to the road network that contributes to its spread. Indeed, major roads around the island that connect the main villages are located at lower elevations. Access to villages at higher elevations is generally by secondary roads or even paths. They are therefore less used, which limits the spread of malaria to higher altitude areas. Nevertheless, links with the environment are likely to be found at a more local level. Oichili Dimani health district, which has the most-likely cluster and many high incidence villages, is also the district of Grande Comore with the smallest area of forest (22%, unlike Mbadjini West district, which is covered

with forests over 79% of its surface). When focusing the analysis in Oichili Dimani, we found that shrub vegetation in the proximity of villages is a significant predictor of malaria incidence together with average elevation in a multiple linear regression. These results are consistent with another study in Ghana, methodologically close, which showed that the increase in the proportion of forests around villages was associated with a decrease in malaria (30). We can also consider whether the negative effect of altitude on malaria is related to mosquito ecology. Several studies have shown a similar effect on malaria, as in Malawi or Tanzania (49, 50). In Grande Comore, more than 90% of the villages are located at an altitude of less than 600 meters and the main vector species, *Anopheles gambiae,* is likely to live at these altitudes. Indeed, a recent study in Madagascar showed its presence at much higher altitudes (51). In the Centre health District, malaria incidence is positively correlated with two landscape indices, characteristic of fragmentation (the patch and edge densities). This is consistent with a study at the border between French Guiana and Brazil, which showed similar association between the same fragmentation indices and the prevalence of *Plasmodium falciparum* (52).

The next steps in this study could be to work on connections between villages, to model population movements in order to anticipate the spread of malaria when an outbreak occurs in a village. This could be measured with network analyses to estimate interactions between villages. The use of mobile phone data has also shown the possibility of quantifying population movements and characterizing the directions of travel. In Madagascar, it has thus been possible to identify the sources and sinks for the importation of malaria from epidemic areas to low transmission areas (53). In a small territory such as Grande Comore, field investigations should also be considered to characterize population movements, and, more specifically, to understand the social and cultural factors that drive these movements (and which will be unseen by mobile phone data). For instance, there are regularly large gatherings in villages for wedding ceremonies or funerals. These social factors are also essential determinants to be taken into account in order to better characterize the risks of malaria transmission (54).

Conclusions

By mapping malaria on a fine scale in 2016, this study allows to clarify its epidemiology in Grande Comore following the drastic reduction in the number of cases since 2014. Malaria is still very prevalent, with most localities affected. Grande Comore remains at the control phase while the other islands are in the pre-elimination phase (4). This study reveals a changing pattern of malaria: before

2015, the incidence was higher on the western part of the island (9) and, in 2016, higher incidences were observed in the eastern part. Furthermore, it specifies the localities and clusters with high incidences that should be targeted for control actions. It also shows trends between malaria and environmental factors, but above all it highlights local spatial heterogeneity with the possibility of villages with high incidences, while their neighbors may not be affected. Other studies have shown that mapping cases at an even finer scale, on their place of residence, can reveal disparities in exposure to the disease. For example, in Ghana, an increasing distance between children's households and the fringe of forests protects against malaria (55). Proximity and human mobility seem to drive malaria epidemiology between these villages by facilitating transmission (via the transport of mosquitoes or the movement of infected people). This study thus shows the importance of precision mapping at a fine scale, which has never before been addressed in the Comoros for malaria. It is important that in the future data can be mapped and analyzed in this way in order to track malaria dynamics over time and space and to optimize control actions.

Acknowledgements

We sincerely thank the Ministry of Health of the Union of the Comoros and the National Malaria Control Programme for supporting this work and for providing epidemiological data. We are grateful to the IRD for funding the thesis of Mr Artadji Attoumane on malaria in the Comoros, through the ARTS program. We also thank the Fonds de Coopération Régionale from Préfecture of La Réunion, for helping this study through the GeoH$_2$O project. We also thank INTERREG FEDER TROI 2015-2017 under the DP One health Indian Ocean (www.onehealth-oi.org) for supporting this work and for connecting the different health actors in the Indian Ocean.

We thank CNES and SEAS-OI Station for providing satellite images free of charge to this study, the National Institute for Statistics and Economic and Demographic Studies (INSEED) for providing demographic data, and the National Agency for Civil Aviation and Meteorology (ANACM) for providing meteorological data.

We are grateful to Dr Aboubacar Said Anli, General Director of Health, for his interest in this work, and to those who collaborated at PNLP: Dr Mohamed Hafidhou, Madame Astafieva Marina, Dr Amina Yssouf, Ali Toilibou, Hadidja Mohamed Soulé and Mr Ahamadi Darouèche. We finally thank

Christophe Révillion (University of La Réunion - UMR Espace-DEV) for his help and advice on remote sensing analysis.

Author contributions

Conception and design: VH, AA, RS, AB, EC, GP. Collection and assembly of data: AA, RS, AB. Data analysis and interpretation: AA, VH. Manuscript writing: All authors. Final approval of manuscript: All authors.

Footnote

Conflicts of Interest: The authors have no conflicts of interest.

References

1. World Health Organization. World malaria report 2017. 196 p.

2. Ouledi A. Épidémiologie et contrôle du paludisme en République Fédérale Islamique des Comores. Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé. 1995;5(6):368-71.

3. Blanchy S, Benthein F, Sabatinelli G. Epidémiologie du paludisme en République Fédérale Islamique des Comores: données actuelles. Cahiers ORSTOM Série Entomologie Médicale et Parasitologie. 1987 (spécial):45-52.

4. Toyb M, Ouledi A, Gaüzère B-A, Aubry P. Malaria in the Comoros Archipelago in 2015: status after 15 years of fight. Bulletin de la Société de pathologie exotique. 2016;109(2):107-13.

5. Deng C, Huang B, Wang Q, Wu W, Zheng S, Zhang H, et al. Large-scale Artemisinin–Piperaquine Mass Drug Administration With or Without Primaquine Dramatically Reduces Malaria in a Highly Endemic Region of Africa. Clinical Infectious Diseases. 2018:ciy364-ciy.

6. Kassim SA, James PB, Alolga RN, Assanhou AG, Kassim SM, Bacar A, et al. Major decline in malaria morbidity and mortality in the Union of Comoros between 2010 and 2014: The effect of a combination of prevention and control measures. South African Medical Journal. 2016;106(7):709-14.

7. Deng C, Wang Q, Zheng S, Zhou C, Gao Y, Guo J, et al. Mass Drug Administration of Artemisinin-piperaquine on High Malaria Epidemic Area. Tropical medicine and health. 2014 Jun;42(2 Suppl):33-41. PubMed PMID: 25425949. Pubmed Central PMCID: 4204058.

8. Blanchy S, Julvez J, Mouchet J. Stratification épidémiologique du paludisme dans l'archipel des Comores. Bull Soc Pathol Exot. 1999;92(3):177-84.

9. Ouledi A. Paludisme et environnement aux Comores [Thèse de doctorat]: Université Paris VI - Pierre et Marie Curie; 2003.

10. Papa Mze N, Ahouidi AD, Diedhiou CK, Silai R, Diallo M, Ndiaye D, et al. Distribution of *Plasmodium* species on the island of Grande Comore on the basis of DNA extracted from rapid diagnostic tests. Parasite. 2016;23:34. PubMed PMID: 27561250. Pubmed Central PMCID: 5000577. La distribution des especes de Plasmodium dans l'ile de Grande Comore, a partir de l'ADN extrait des tests de diagnostic rapide.

11. Commisariat au Plan UDC. Enquête Démographique et de Santé et à Indicateurs Multiples (EDSC-MICS II) 2012. Moroni Comores: 2014.

12. Mohamed I. L'eau en Grande Comore: étude de cas d'un petit espace insulaire abondamment arrosé mais en situation de pénurie d'eau [Thèse de doctorat]: Université de La Réunion; 2012.

13. Ohrt C, Roberts KW, Sturrock HJW, Wegbreit J, Lee BY, Gosling RD. Information Systems to Support Surveillance for Malaria Elimination. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. 2015 Jul;93(1):145-52. PubMed PMID: WOS:000357764300026. English.

14. Yukich JO, Butts J, Miles M, Berhane Y, Nahusenay H, Malone JL, et al. A description of malaria sentinel surveillance: a case study in Oromia Regional State, Ethiopia. Malaria Journal. 2014 Mar 11;13. PubMed PMID: WOS:000334800200001. English.

15. Mercado CE, Ekapirat N, Dondorp AM, Maude RJ. An assessment of national surveillance systems for malaria elimination in the Asia Pacific. Malar J. 2017 Mar 21;16(1):127. PubMed PMID: 28327180. Pubmed Central PMCID: 5361802.

16. Randrianaivo H, Bertaut-Nativel B, André M, Irabe M, Robillard P-Y, Boumahni B, et al. Mise en place d'une surveillance spatialisée des malformations congénitales à La Réunion : choix méthodologiques. 2018 (2):38-44.

17. Robertson C, Nelson TA, MacNab YC, Lawson AB. Review of methods for space-time disease surveillance. Spat Spatiotemporal Epidemiol. 2010 Jul;1(2-3):105-16. PubMed PMID: 22749467.

18. Kelly GC, Hale E, Donald W, Batarii W, Bugoro H, Nausien J, et al. A high-resolution geospatial surveillance-response system for malaria elimination in Solomon Islands and Vanuatu. Malaria Journal. 2013 Mar 21;12. PubMed PMID: WOS:000317229600001. English.

19. Ma S, Lawpoolsri S, Soonthornworasiri N, Khamsiriwatchara A, Jandee K, Taweeseneepitch K, et al. Effectiveness of Implementation of Electronic Malaria Information System as the National Malaria Surveillance System in Thailand. JMIR Public Health Surveill. 2016;2(1):e20. Epub 06.05.2016. English.

20. Rajatonirina S, Heraud JM, Randrianasolo L, Orelle A, Razanajatovo NH, Raoelina YN, et al. Short message service sentinel surveillance of influenza-like illness in Madagascar, 2008-2012. Bulletin of the World Health Organization. 2012 May;90(5):385-9. PubMed PMID: WOS:000303784900014. English.

21. Girond F, Randrianasolo L, Randriamampionona L, Rakotomanana F, Randrianarivelojosia M, Ratsitorahina M, et al. Analysing trends and forecasting malaria epidemics in Madagascar using a sentinel surveillance network: a web-based application. Malaria Journal. 2017;16(1):72.

22. Eskenazi B, Quiros-Alcala L, Lipsit JM, Wu LD, Kruger P, Ntimbane T, et al. mSpray: A mobile phone technology to improve malaria control efforts and monitor human exposure to malaria control pesticides in Limpopo, South Africa. Environment international. 2014 Jul;68:219-26. PubMed PMID: WOS:000337874300025. English.

595 23. Herbreteau V. When geography of health meets health ecology. In: Morand S, Krasnov B,
596 editors. The biogeography of host-parasite interaction. New-York: Oxford University Press; 2010. p.
597 247-65.

598 24. Stefani A, Dusfour I, Cruz MCB, Dessay N, Galardo AKR, Galardo CD, et al. Land cover, land
599 use and malaria in the Amazon: a systematic literature review of studies using remotely sensed data.
600 Malaria Journal. 2013 Jun 8;12. PubMed PMID: WOS:000320455400001. English.

601 25. Gebreslasie MT. A review of spatial technologies with applications for malaria transmission
602 modelling and control in Africa. Geospat Health. 2015 Nov 26;10(2):328. PubMed PMID: 26618308.

603 26. Viana J, Santos J, Neiva R, Souza J, Duarte L, Teodoro A, et al. Remote Sensing in Human
604 Health: A 10-Year Bibliometric Analysis. Remote Sensing. 2017;9(12):1225. PubMed PMID:
605 doi:10.3390/rs9121225.

606 27. Herbreteau V, Salem G, Souris M, Hugot J-P, Gonzalez J-P. Thirty years of use and
607 improvement of remote sensing, applied to epidemiology: From early promises to lasting frustration.
608 Health & Place. 2007;13(2):400-3. PubMed PMID: WOS:000244395500009.

609 28. Midekisa A, Senay G, Henebry GM, Semuniguse P, Wimberly MC. Remote sensing-based
610 time series models for malaria early warning in the highlands of Ethiopia. Malaria Journal. 2012 May
611 14;11. PubMed PMID: WOS:000311110000001. English.

612 29. Fastring DR, Griffith JA. Malaria incidence in Nairobi, Kenya and dekadal trends in NDVI and
613 climatic variables. Geocarto International. 2009 2009/06/01;24(3):207-21.

614 30. Krefis AC, Schwarz NG, Nkrumah B, Acquah S, Loag W, Oldeland J, et al. Spatial analysis of
615 land cover determinants of malaria incidence in the Ashanti Region, Ghana. PLoS ONE.
616 2011;6(3):e17905. PubMed PMID: 21448277. Pubmed Central PMCID: 3063166. Epub 2011/03/31.
617 eng.

618 31. Benz UC, Hofmann P, Willhauck G, Lingenfelder I, Heynen M. Multi-resolution, object-oriented
619 fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. Isprs J Photogramm. 2004
620 2004/01/01/;58(3):239-58.

621 32. Blaschke T. Object based image analysis for remote sensing. Isprs J Photogramm. 2010
622 Jan;65(1):2-16. PubMed PMID: WOS:000274448200002. English.

623 33. Kelly M, Blanchard SD, Kersten E, Koy K. Terrestrial Remotely Sensed Imagery in Support of
624 Public Health: New Avenues of Research Using Object-Based Image Analysis. Remote Sensing.
625 2011;3(11):2321. PubMed PMID: doi:10.3390/rs3112321.

626 34. Foody GM. Status of land cover classification accuracy assessment. Remote Sensing of
627 Environment. 2002 2002/04/01/;80(1):185-201.

628 35. Russell PF, Santiago D. Flight Range of Anopheles in the Philippines. The American Journal
629 of Tropical Medicine and Hygiene. 1934;s1-14(5):407-24.

630 36. Yeshiwondim AK, Gopal S, Hailemariam AT, Dengela DO, Patel HP. Spatial analysis of
631 malaria incidence at the village level in areas with unstable transmission in Ethiopia. International
632 Journal of Health Geographics. 2009 January 26;8(1):5.

633 37. Carter R, Mendis KN, Roberts D. Spatial targeting of interventions against malaria. Bull World
634 Health Organ. 2000;78(12):1401-11. PubMed PMID: 11196487. Pubmed Central PMCID: 2560653.

635 38. McGarigal K, Cushman S, Ene E. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for
636 Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the
637 University of Massachusetts, Amherst. 2012.

638 39. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial
639 Foundation Project; 2018.

640 40. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R
641 Foundation for Statistical Computing; 2018.

642 41. RStudio Team. RStudio: Integrated Development for R. Boston, MA, United States: RStudio,
643 Inc.; 2018.

644 42. Moran PAP. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. Biometrika. 1950;37(1/2):17-23.

645 43. Getis A, Ord JK. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics.
646 Geographical Analysis. 1992;24(3):189-206.

647 44. Anselin L. Local Indicators of Spatial Association—LISA. Geographical Analysis.
648 1995;27(2):93-115.

649 45. Kulldorff M, Mostashari F, Duczmal L, Katherine Yih W, Kleinman K, Platt R. Multivariate scan
650 statistics for disease surveillance. Stat Med. 2007 Apr 15;26(8):1824-33. PubMed PMID: 17216592.

651 46. Kulldorff M. A spatial scan statistic. Commun Stat-Theor M. 1997;26(6):1481-96. PubMed
652 PMID: WOS:A1997XC91200013. English.

653 47. McCullagh P, Nelder JA. Generalized linear models: CRC press; 1989.

654 48. Fox J, Monette G. Generalized collinearity diagnostics. Journal of the American Statistical
655 Association. 1992;87(417):178-83.

656 49. Kazembe LN, Kleinschmidt I, Holtz TH, Sharp BL. Spatial analysis and mapping of malaria risk
657 in Malawi using point-referenced prevalence of infection data. Int J Health Geogr. 2006 Sep 20;5:41.
658 PubMed PMID: 16987415. Pubmed Central PMCID: 1584224.

659 50. Maxwell CA, Chambo W, Mwaimu M, Magogo F, Carneiro IA, Curtis CF. Variation of malaria
660 transmission and morbidity with altitude in Tanzania and with introduction of alphacypermethrin
661 treated nets. Malar J. 2003 Sep 10;2:28. PubMed PMID: 14585106. Pubmed Central PMCID: 239954.

662 51. Tantely ML, Rakotoniaina JC, Tata E, Andrianaivolambo L, Fontenille D, Elissa N. Modification
663 of Anopheles gambiae distribution at high altitudes in Madagascar. Journal of vector ecology : journal
664 of the Society for Vector Ecology. 2012 Dec;37(2):402-6. PubMed PMID: 23181865.

665 52. Li Z, Roux E, Dessay N, Girod R, Stefani A, Nacher M, et al. Mapping a Knowledge-Based
666 Malaria Hazard Index Related to Landscape Using Remote Sensing: Application to the Cross-Border
667 Area between French Guiana and Brazil. Remote Sensing. 2016;8(4):319. PubMed PMID:
668 doi:10.3390/rs8040319.

669 53. Ihantamalala FA, Herbreteau V, Rakotoarimanana FMJ, Rakotondramanga JM, Cauchemez
670 S, Rahoilijaona B, et al. Estimating sources and sinks of malaria parasites in Madagascar. Nature
671 communications. 2018 Sep 25;9(1):3897. PubMed PMID: 30254280.

672 54. Baragatti M, Fournet F, Henry MC, Assi S, Ouedraogo H, Rogier C, et al. Social and
673 environmental malaria risk factors in urban areas of Ouagadougou, Burkina Faso. Malar J. 2009 Jan
674 13;8:13. PubMed PMID: 19144144. Pubmed Central PMCID: 2640411.

675 55. Kreuels B, Kobbe R, Adjei S, Kreuzberg C, von Reden C, Bater K, et al. Spatial variation of
676 malaria incidence in young children from a geographically homogeneous area with high endemicity. J
677 Infect Dis. 2008 Jan 1;197(1):85-93. PubMed PMID: 18171290.

678

3.3 Discussion

L'échelle des districts sanitaires a permis de montrer quelques tendances entre le paludisme et des variables environnementales (zones urbanisées, NDVI, végétation herbacée). Cette échelle a représenté un progrès en termes de cartographie sanitaire, en permettant de mieux cartographier les données épidémiologiques. Toutefois, elle n'est pas suffisamment précise pour véritablement comprendre l'influence des facteurs environnementaux sur la transmission du paludisme en Union des Comores, et plus spécifiquement sur la Grande Comore. Les dix-sept districts sanitaires représentent trop peu d'unités spatiales pour des analyses statistiques précises. Le district du Centre, large et peuplé, attire plus de poids dans les analyses spatiales. Une échelle plus fine serait indispensable pour affiner l'échelle. L'échelle des communes serait mieux adaptée, car il y a plus d'unités spatiales (54 communes) et donc plus de précision que les districts sanitaires. Le défi de ce changement reste la précision et la disponibilité des données épidémiologiques, car elles sont agrégées à l'échelle des districts sanitaires. Les registres de santé des structures sanitaires enregistrent toutefois le nom des villages d'origine des patients mais les données épidémiologiques par village sont rarement disponibles (pour rappel, seule l'année 2016 pour les villages de La Grande Comore a été disponible pour cette étude). La disponibilité des données épidémiologiques à l'échelle des villages permettrait de reconstituer des données à toute échelle ; commune, district sanitaire, préfecture et île. C'est la plus fine échelle d'étude possible en l'absence d'adresse des ménages.

La mise à disposition pour cette étude de telles données épidémiologiques à l'échelle des villages a permis de montrer le grand intérêt de données plus fines pour affiner les analyses et mettre en évidence l'hétérogénéité spatiale du paludisme à la Grande Comore. La proximité entre les villages est ressortie comme un facteur déterminant dans la transmission du paludisme à la Grande Comore. Jusqu'à une distance de 2,65 km, cinq villages du district d'Oichili Dimani forment un cluster de haute transmission du paludisme à la Grande Comore. C'est donc un changement de faciès du paludisme, car le paludisme serait plutôt hypoendémique dans les versants est de l'île. La transmission du paludisme entre villages serait plus liée à la mobilité des populations qu'aux facteurs environnementaux. Nous observons une incidence très élevée entre les localités reliées à la route principale que celles reliées par des chemins piétons et même si elles sont très proches. L'isolement géographique serait une barrière physique à la transmission du paludisme. Cette situation a été observée

dans le village de Dzahani Ya Oichili qui a enregistré moins de cas alors qu'il est situé 5,5 km d'Itsinkoudi et à 2,1 km de la route principale. Une étude de mobilité des populations serait nécessaire pour confirmer cette hypothèse. La confirmation de cette hypothèse permettrait aussi de développer des modèles de la transmission du paludisme entre les villages.

L'absence de données de précipitations constitue une limite dans l'analyse spatiale à toutes les échelles (villages et districts). A défaut, nous avons utilisé l'indice de végétation NDVI qui est fortement corrélé aux précipitations, mais aucun lien n'a été observé avec le paludisme. Il est probable que le niveau bas de l'incidence du paludisme masque les liens avec le NDVI et donc les précipitations, la survenue des cas pouvant être plus liée à des facteurs d'exposition et de protection des populations et à leur mobilité.

Les relations entre les variables environnementales et l'incidence du paludisme sont peu marquées et variables selon les échelles. Le paludisme semble lié à l'altitude à la Grande Comore et cela a été observé sur les autres îles. Toutefois, il faut noter que plus de 90 % des villages sont situés à moins de 600 mètres d'altitude. L'observation d'une corrélation négative entre la végétation arborée et l'incidence démontre le changement de faciès du paludisme aux Comores. Le paludisme a toujours été très dominant dans les localités situées dans les zones forestières et très arrosées or, elles sont les moins affectées en 2016. Ce changement prouve également l'effet des actions de contrôle sur les changements de faciès. Il a été mis en évidence pour la première fois aux Comores, le lien entre le paludisme et les indices paysagers notamment les indices de fragmentation des milieux. Ces indices permettent de comprendre que la densification de la ville est favorable au maintien du paludisme en zone urbaine. Le quartier de la Koulé est l'exemple d'une telle situation. Ce quartier était bien avant les années 2010 une zone forestière qui séparait la ville de Moroni des villages situés à l'est de Moroni (Salimani et Dzahani Tsidjé). Ces dernières années, la forêt a laissé place à une forte densité de maisons en tôle. Ce quartier et le village de Dzahani Tsidjé ont formé un cluster de 1,46 km où le nombre de cas observés est trois fois supérieur au nombre de cas attendus. Ces quartiers, densifiés en maisons de tôle, caractérisent peut-être une certaine vulnérabilité des populations qui peut être favorable à la transmission du paludisme et qu'il serait intéressant d'étudier.

Chapitre 4 : Analyse des facteurs de vulnérabilité des populations face au paludisme

4.1 Introduction

La pauvreté des populations est généralement associée à une mauvaise santé, et ceci est surtout observé en Afrique où les maladies infectieuses sont particulièrement morbides et mortelles (OMS, 2003). Le paludisme est reconnu comme étant une maladie de la pauvreté (WHO, UNICEF, 2003 ; Worrall et al., 2005). Cette pauvreté se mesure à travers les facteurs socio-économiques, dont un grand nombre ont été associés au paludisme dans de nombreux pays d'Afrique : le niveau de vie, le niveau d'éducation, le type d'habitation, l'accès aux soins, la nutrition et l'utilisation des moustiquaires (Somi et al., 2007 ; Tang et al., 2017 ; Kouadio et al., 2006 ; Uzochukwu, Onwujekwe, 2004 ; Koram et al., 1995 ; Banguero, 1984). (Somi et al., 2007 ; Kouadio et al., 2006 ; Deressa et al., 2007 ; Dike et al., 2006 ; Friedman et al., 2005 ; El et al., 1987 ; Worrall et al., 2002 ; Mushi et al., 2003).

L'Union des Comores fait partie de ces pays pauvres d'Afrique, avec un taux de pauvreté estimé à 42,4% de la population en 2014 (316 000 habitants) selon le dernier rapport de la Banque Mondiale (Belghith et al., 2018). Selon le même rapport, des inégalités sur la pauvreté s'observent entre les îles : 46,6% à Anjouan, 44,9% à Mohéli et 39,8 à la Grande Comore, mais également entre les zones rurales (49,9%) et les zones urbaines (31,0%). Cette pauvreté a des conséquences sur le recours aux soins (95% de la population ne bénéficie d'aucune couverture sanitaire) et la nutrition (11,1% des enfants souffrent de malnutrition) (Nations Unies, 2017). La population comorienne fait face à des conditions de vie difficiles notamment pour l'accès à l'eau : seuls 37,9% des ménages ont accès à l'eau de robinet dans leur logement (Commissariat au Plan, 2014).

Ces conditions de vie, d'accès aux soins et d'accès à l'eau ont-elles eu un rôle sur la survenue du paludisme et son maintien aux Comores ?

Afin de comprendre la vulnérabilité de la population comorienne face à la survenue du paludisme, nous avons organisé une enquête auprès de la population des trois îles. Cette enquête a été menée dans le cadre d'une enquête plus large sur la vulnérabilité face à la transmission des maladies liées à l'eau qui constituait le projet Geo$H_2$0-Comores. Ce projet, coordonné par l'UMR Espace-Dev en collaboration avec le PNLP, a été financé par l'Etat français via la Préfecture de La Réunion, à travers le Fonds de Coopération Régionale.

L'objectif général de cette enquête était d'évaluer les facteurs géographiques et humains qui conditionnent la vulnérabilité des populations vis-à-vis du paludisme. Trois axes ont été identifiés :

- décrire les accès et les usages de l'eau, pour estimer la présence de gîtes autour des habitations et l'exposition potentielle des populations au paludisme ;
- décrire l'accessibilité et le recours aux soins pour comprendre si les cas de paludisme sont réellement diagnostiqués par le système de soins et dans quelle mesure les populations peuvent se soigner ;
- déterminer les connaissances, les attitudes et les pratiques face au paludisme pour estimer le poids des comportements de protection dans l'épidémiologie du paludisme

Cette enquête a été conçue afin de pouvoir avoir un échantillonnage représentatif de la population des trois îles, et de permettre des analyses spatiales.

Enfin, l'enquête visait enfin à sensibiliser sur l'importance des facteurs individuels, liés aux conditions de vie, aux connaissances et au comportement, dans l'estimation des risques sanitaires, et proposer des méthodes d'analyse réutilisables par les services sanitaires comoriens et des pays du Sud.

4.2 Méthodologies

4.2.1 Organisation et éthique

Les formulaires d'enquête ont été conçus en 2016 et soumis au PNLP pour discussion. Une première réunion avec les partenaires comoriens pour le démarrage de l'enquête a pu être organisée en janvier 2017 puis l'enquête a été réalisée entre mars et mai 2017. La réunion de restitution a eu lieu en avril 2018 à Moroni.

L'enquête GeoH_2O a reçu l'autorisation du Ministère de la Santé qui a validé les questionnaires et le protocole. Les directeurs régionaux et les chefs de villages ont été informés du déroulement de l'enquête sur les différentes localités. On a demandé le consentement des ménages pour participer à l'enquête. En cas de refus, l'enquêteur ne devait pas insister mais choisir un autre ménage conformément aux règles de l'échantillonnage.

Les données issues de l'enquête sont la propriété des partenaires du projet, le PNLP et l'IRD. Ils ont l'obligation d'informer la direction Générale de la Santé des Comores sur les résultats issus de cette étude, et d'indiquer l'origine des financements.

4.2.1.1 Choix méthodologiques et échantillonnage

Le projet repose sur la réalisation d'enquêtes auprès des populations. Ces enquêtes doivent permettre :

- Une représentation de chaque île (pour des comparaisons inter-îles),
- Une représentation des populations urbaines et rurales,
- Une bonne distribution spatiale des lieux d'enquête (afin de mesurer des facteurs géographiques).

L'effort d'enquête par île est lié au nombre de villages et à leur population, tout en veillant à permettre une comparaison inter-îles, avec un **objectif de plus de 300 enquêtes par île** et d'un échantillonnage d'environ 30 enquêtes par « site » (village ou quartier) pour des raisons statistiques.

Afin de pouvoir enquêter sur un tel échantillonnage et face à des contraintes matérielles (temps et budget), nous avons fait les choix suivants :

- Une enquête par ménage : 1 personne du ménage sera interrogée ;
- Un questionnaire fermé (réponses prédéfinies), afin de permettre d'interroger un plus grand nombre de personnes avec les moyens à disposition ;
- Réalisée sur des tablettes afin de :
    - Ne pas avoir de saisie des fiches (cela demande trop de temps pour la saisie et cela peut engendrer des erreurs),
    - Faciliter les analyses,
    - Permettre d'enregistrer directement les localisations (avec le GPS des tablettes) et de prendre des photos (par exemple, des citernes).

Le nombre d'enquêtes réalisables par enquêteur en une journée a été évalué à 12, soit 36 enquêtes réalisables par jour avec 3 enquêteurs. Ce nombre de 36 enquêtes a donc été fixé comme le nombre d'enquêtes à réaliser sur chaque « site » (village ou quartier). Ceci a permis de ne visiter qu'un site par jour pour optimiser les déplacements.

Afin d'avoir plus de 300 enquêtes par île, il fallait au moins 9 sites par île. Sachant que Mohéli est la plus petite, nous avons envisagé plus de sites pour les autres îles plus peuplées :

- Grande Comore (Ngazidja) : 15 sites x 36 enquêtes = 540 enquêtes
- Mohéli (Mwali) : 9 sites x 36 enquêtes = 324 enquêtes
- Anjouan (Ndzouani) : 12 sites x 36 enquêtes = 432 enquêtes

La taille de l'échantillonnage à atteindre a donc été fixée à 1296 ménages sur l'ensemble des îles.

Le choix de la méthode d'échantillonnage s'est fait par rapport à la littérature et en discussion avec Mr Msaidié, statisticien du PNLP. Nous avons choisi de faire un **échantillonnage stratifié à 4 degrés : île, district sanitaire, village, urbain et rural** (pour répondre aux objectifs d'analyse à différents niveaux). Un site d'échantillonnage est donc un village (rural) ou un quartier (urbain). Nous avons basé l'échantillonnage sur la liste exhaustive des villages avec les effectifs de leurs populations, issus du Recensement Général de la Population et de l'Habitat des Comores de 2003 et projeté en 2017.

L'échantillonnage prend tout d'abord en compte le nombre moyen de ménages par village (donné par le recensement) puis le nombre moyen de personnes par ménage. Selon le recensement de 2003, chaque ménage se compose en moyenne de 6 personnes. Ce chiffre a été aussi utilisé pour la campagne de distribution des moustiquaires imprégnées (MILDs) en 2016 par le PNLP.

Tirage des sites enquêtés :

Le nombre de sites par district est proportionnel au pourcentage de ménages dans le district par rapport à l'ensemble des ménages de l'île. Dans le cas où le nombre théorique de sites par district est inférieur à 1 alors nous avons choisi de prendre un site dans ce district. Ce cas est

observé à Ndzouani dans le district de Tsembehou et Sima et à Ngazidja dans le district de Hambou et Mbadjini Ouest.

Le nombre de sites en zone urbaine est proportionnel au pourcentage de ménages en zone urbaine par rapport à l'ensemble des ménages du district. Les sites urbains sont tirés aléatoirement parmi l'ensemble des sites urbains d'un district donné. C'est un tirage au hasard simple sur la liste des villages urbains de chaque district. Nous procédons de même pour les sites ruraux.

Tirage des ménages par site :

Nous avons sélectionné les ménages par la méthode dite de l'Afrobaromètre. Il a fallu tout d'abord définir un pas d'échantillonnage (noté « p » qui correspond au rapport entre le nombre total de ménages du site à enquêter divisé par le nombre d'enquêtes à réaliser dans ce site. Cette méthode consiste à choisir un point stratégique dans la ville (exemple ; un rond-point, une école, une source d'eau, etc.) comme début de l'échantillonnage (Figure 52). À partir de ce point, les enquêteurs ont pris successivement la direction des quatre points cardinaux. Chaque enquêteur a compté les ménages sur sa direction de droite à la gauche jusqu'au $p^{ième}$ ménage où il a débuté le premier ménage de l'enquête. Par la suite, ils ont poursuivi l'enquête en sélectionnant à chaque fois le pième ménage (le comptage des ménages se fait de la droite à la gauche) (Himelein, Eckman et al. 2016). Une fois arrivé au bout de la ligne de direction et que le nombre d'enquêtes n'est pas terminé, l'enquêteur a tourné à droite en faisant un angle de 90° et a poursuivi son enquête. En l'absence d'une personne dans le ménage, l'enquêteur a refait un comptage et a pris le $p^{ième}$ ménage suivant.

Figure 52 : Capture d'écran de la localisation des ménages enquêtés à Dzahani Tsidje Grande Comore

Tirage de l'individu à enquêter dans le ménage

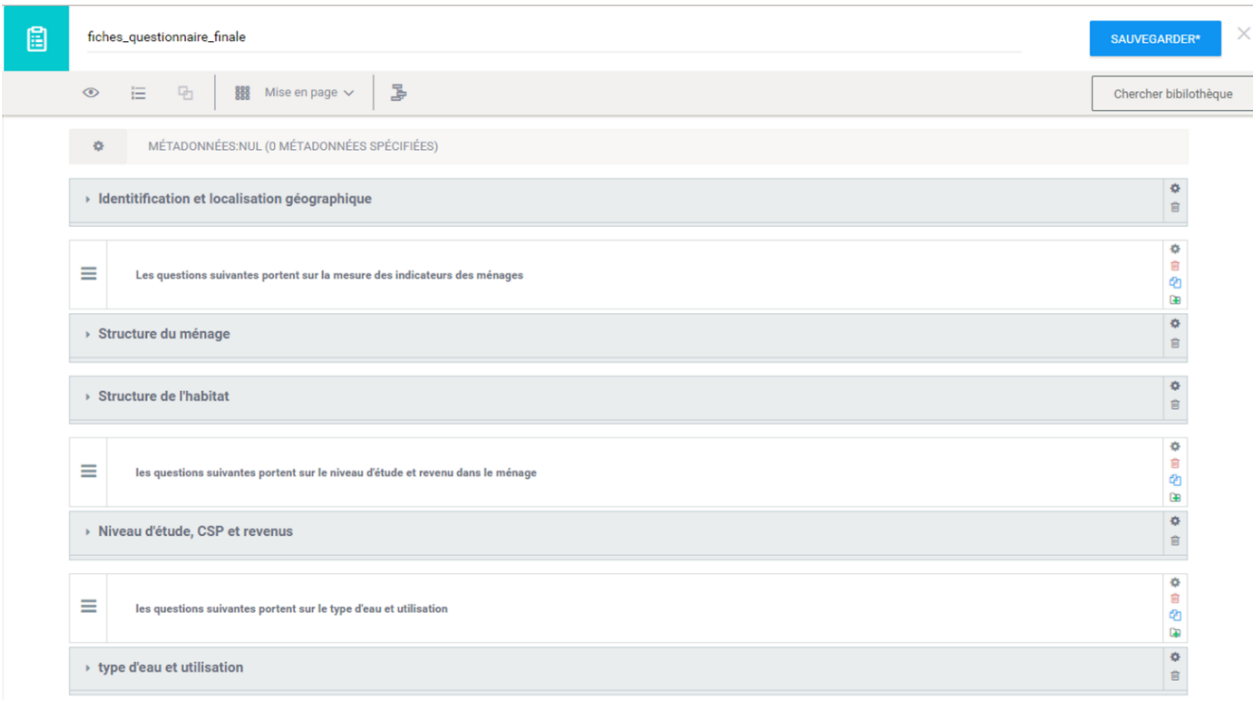
Seule une personne était autorisée à répondre aux questionnaires. Cette personne devait avoir plus de 15 ans. Le premier choix portait sur le ou les responsables du ménage. En cas d'absence, l'un des membres de la famille, âgé de plus de 15 ans, était sollicité pour répondre aux questions. En cas d'absence d'une personne âgée de plus de 15 ans dans le ménage, l'enquêteur a refait un comptage et a pris le p^{ième} ménage suivant.

4.2.1.2 Réalisation des questionnaires

Comme prévu, nous avons collecté les réponses sur des tablettes numériques avec un questionnaire fermé. Nous avons choisi le logiciel gratuit KoBoToolbox (http://www.kobotoolbox.org) pour créer et gérer les questionnaires. Ce logiciel, basé sur ODK, permet soit d'installer la base de données sur un ordinateur qui devient serveur pour se connecter aux tablettes, soit de créer et gérer la base de données en ligne sur le serveur sécurisé de KoBoToolbox. Nous avons choisi cette deuxième possibilité, afin que les personnes encadrant ce travail d'enquête, à l'IRD et au PNLP, puissent suivre la réalisation de

l'enquête. La sauvegarde en ligne des enquêtes était aussi plus sécurisante pour ne pas perdre de données mais la principale contrainte était la nécessité d'une connexion internet de temps en temps pour pouvoir décharger les tablettes. Nous avons donc choisi d'acheter une clé wifi et des forfaits internet pour pouvoir sauvegarder les questionnaires quotidiennement.

Les fiches d'enquête ont été déployées sur les tablettes avec l'application KoBoCollect. Chaque enquêteur a déroulé les questionnaires en cochant les réponses données par les personnes et en interrogeant le GPS des tablettes pour automatiquement enregistrer les localisations. Chaque soir, le superviseur de l'enquête a agrégé les données dans la base de données centrale en ligne et fait une sauvegarde externe de cette base de données (Photographie 22).

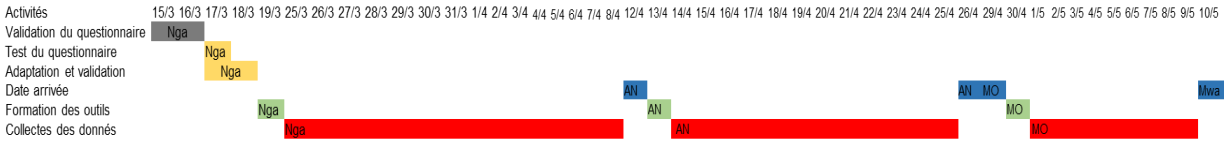


Photographie 21 : Aperçu de la base de données de l'enquête depuis http://www.kobotoolbox.org/

4.2.1.3 Déroulement de l'enquête

La réalisation de l'enquête a été supervisée sur les trois îles par M Artadji Attoumane. Il a veillé au bon déroulement de l'enquête et au respect du protocole. Il a aussi géré la prise en charge des frais. Le PNLP a mis à disposition 3 enquêteurs par île, 1 chauffeur et un véhicule.

Nous avons réalisé l'enquête du 25 mars au 8 avril 2017 à la Grande Comore, du 12 au 26 avril 2017 à Anjouan et du 29 avril au 10 mai 2017 à Mohéli (Photographie 23 et 24).



Photographie 22 : Calendrier de l'enquête à la Grande Comore (GC), à Anjouan (AN) et à Mohéli (MO)

Photographie 23 : Enquêtrice et interviewée dans le village de Trindrini à Anjouan

Le temps total passé quotidiennement à saisir les questionnaires a été en moyenne de 5 heures 45 à la Grande Comore (soit 29 minutes par interview), de 6 heures 23 à Anjouan (soit 32 minutes par interview) et de 5 heures 41 à Mohéli (soit 28 minutes par interview). Nous avons débuté les enquêtes plus tôt à Mohéli (en moyenne vers 7 h 30) car les villages étaient à de plus courtes distances du lieu de départ (Fomboni), contrairement à la Grande Comore (Moroni) et à Anjouan (Mutsamudu) (Figure 53).

Au final, nous avons pu enquêter 1288 ménages sur 1296 ménages ciblés, soit un taux de couverture de 99% sur l'ensemble des îles. Ce taux est de 100% à la Grande Comore (540 ménages) et à Mohéli (325 ménages) et de 98% à Anjouan (423/432). En effet, nous avons enquêté moins de 36 ménages à Chirové (30) et Trindrini (34), où il y avait moins de ménages que prévu. Tous les ménages urbains ciblés (468) et seulement 99% des ménages ruraux (821/828) ont été enquêtés (Figure 54).

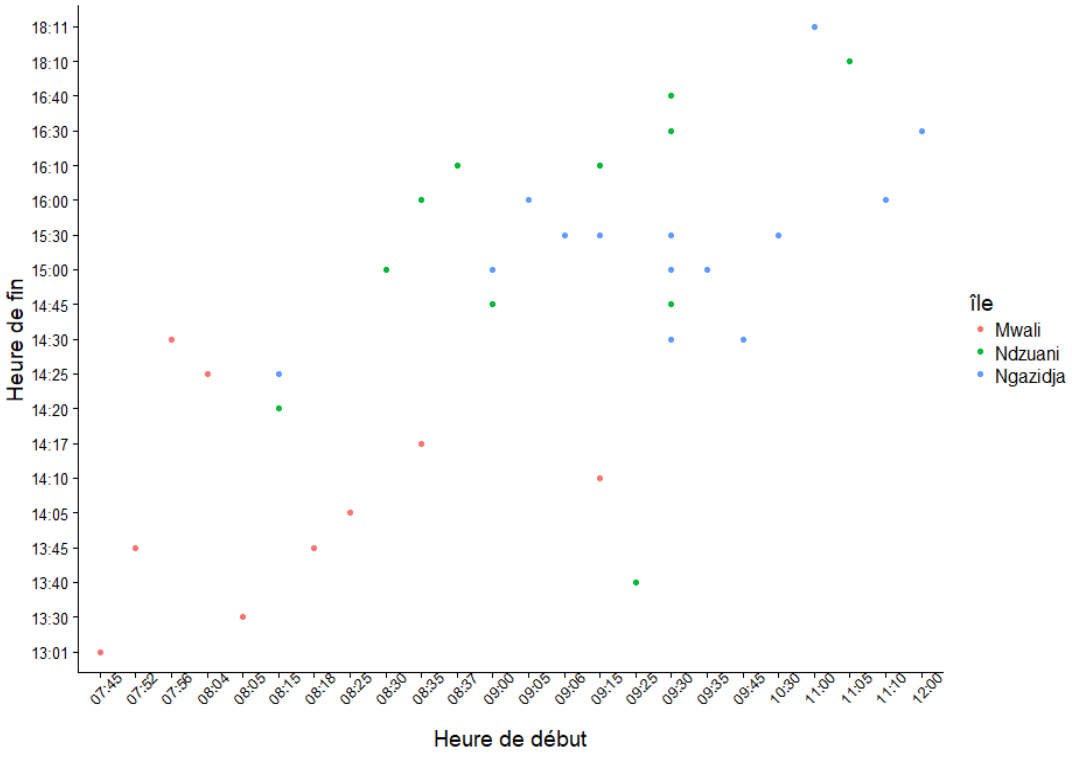


Figure 53 : Heure de début de la première enquête journalière et de fin de la dernière enquête journalière par île : Mwali=Mohéli, Ndzuani=Anjouan, Ngazidja=Grande Comore

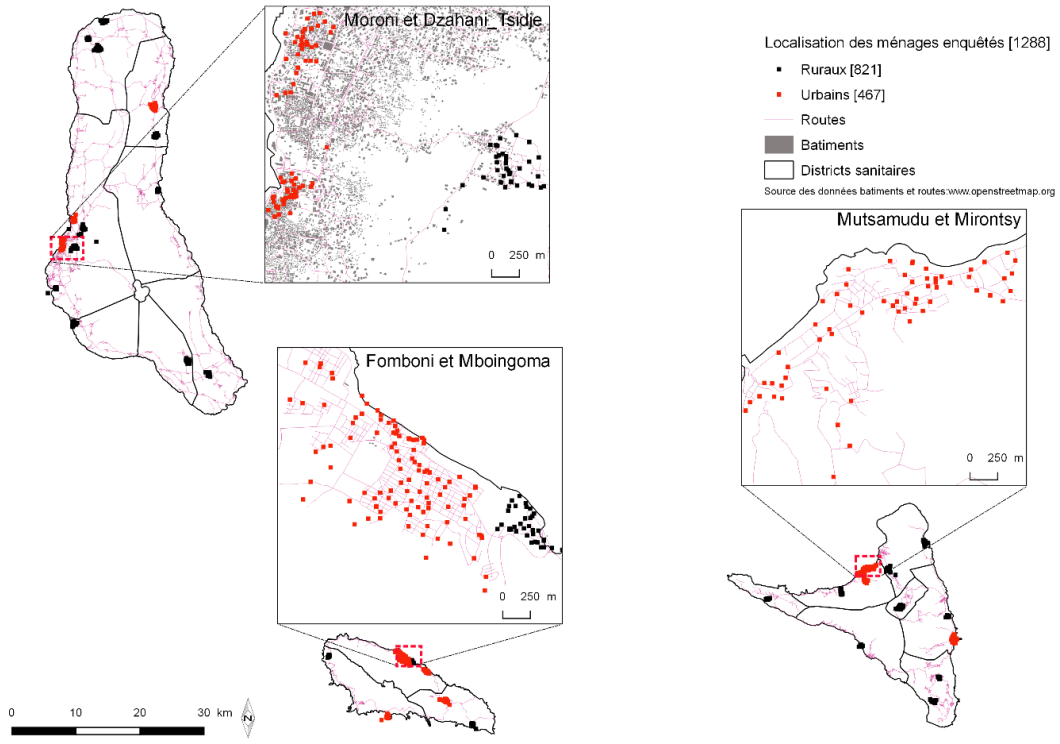


Figure 54 : Localisation des ménages enquêtés par île

4.2.2 Analyses statistisques

Des analyses descriptives ont été faites pour calculer le pourcentage de chaque variable à l'échelle des villages. Une analyse de la variance a été utilisée pour comparer les proportions des variables entre les villes et les villages (O'brien, 1981 ; Shapiro, Wilk, 1965). Ces variables ont été également cartographiées à l'échelle des villages en utilisant le logiciel QGIS. Une analyse de corrélation a été utilisée pour voir la relation qui existe entre les variables sociales et l'incidence du paludisme à la Grande Comore. Ces données épidémiologiques ont été fournies par le PNLP à l'échelle des villages de la Grande Comore pour l'année 2016. Si la probabilité est inférieure à 0,05, le résultat est considéré significatif (Foucart, 2006 ; Monette G, 1992).

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 3.2.5 (R. Core, 2017). L'environnement R-Studio a été utilisé afin de faciliter l'utilisation du langage R (Racine, 2012).

4.3 Résultats

4.3.1 L'accès à l'eau des ménages

L'accès à l'eau est un problème majeur en Union des Comores. Ce ne sont pas tous les ménages qui ont accès à l'eau en permanence et elle n'est pas forcément courante (eau de robinet). Pour leurs besoins, ils font le nécessaire pour s'approvisionner en eau qui peut-être : de pluie, de puits, de rivière ou en bouteille. D'une île à l'autre et d'un district à l'autre, les difficultés d'accès à l'eau ne sont pas les mêmes.

Sources d'eau

L'eau courante (eau du robinet) (Photographie 25) est accessible d'une façon permanente en moyenne pour plus de 55% des ménages en moyenne à Anjouan et à Mohéli (Figure 56). Ce taux est de 8% à la Grande Comore. La présence de cours d'eau permanente (rivières) à Anjouan et à Mohéli facilite l'adduction d'eau dans les zones urbaines et rurales. Toutefois, certains villages, situés à l'extrême est et ouest de Mohéli et au sud et à l'est d'Anjouan (Figure 55), n'ont pas accès à l'eau à plus de 55%. Ces villages font face à des problèmes majeurs d'accessibilité à l'eau. À la Grande Comore, les ménages ayant accès à l'eau courante se trouvent dans la capitale et ses environs (Figure 55). C'est la station d'eau d'État située à Vouvouni (au sud de Moroni) qui alimente ces villes en eau courante.

Photographie 24 : Eau courante (robinet) permanente dans le ménage

Photographie 25 : robinet public dans le village de Nounga à Anjouan

Le réseau d'adduction d'eau est ainsi très

limité. Plusieurs ménages ne disposent pas d'eau courante alors qu'ils sont dans les localités où il y a un système d'adduction d'eau courante. Dans une telle situation, certains ont recours aux robinets publics ou aux voisins pour s'approvisionner en eau.

Beaucoup de ménages se déplacent toujours pour aller chercher de l'eau dans un robinet public (14%) (Photographie 26), plus que chez le voisin (7%) à Anjouan (Figures 57). Cela s'observe beaucoup plus dans les villages situés au nord et au sud de l'île où la majorité des ménages n'ont pas de sources d'eau permanente (Figure 55).

Les ménages de la ville de Moroni et de ses environs préfèrent toujours aller vers un robinet public (13%) que chez un voisin (1%) pour s'approvisionner en eau (Figure 56). Cette préférence s'explique par le fait que l'eau de robinet public est gratuite alors que le voisin peut demander un partage de la facture mensuelle. Contrairement aux îles, les ménages de Mohéli n'ayant pas une source d'eau permanente préfèrent souvent aller chez le voisin (14%) que d'aller à un robinet public (7%). Cela s'observe beaucoup plus dans les quartiers de la capitale Fomboni et des villages situés dans les autres districts sanitaires. Les relations de bon voisinage facilitent ainsi la vie quotidienne des ménages de l'île (Figure 56).

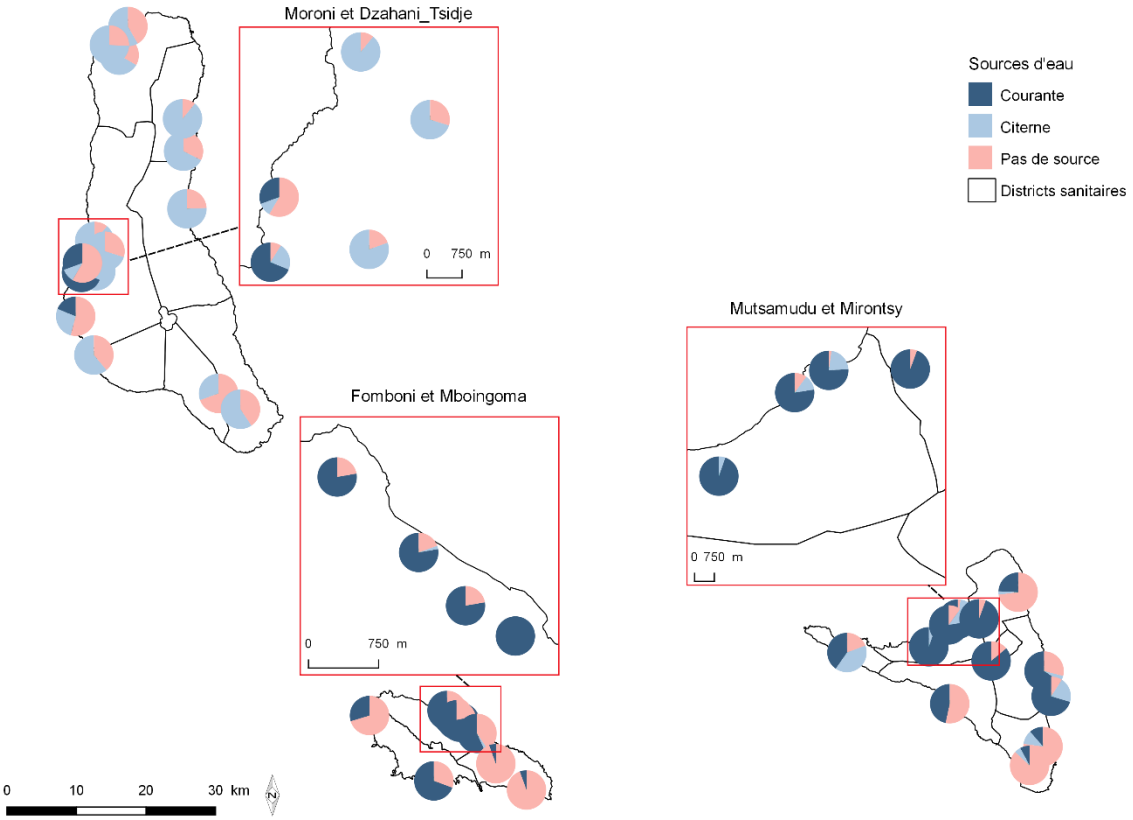


Figure 55 : Cartographie des sources d'eau des ménages enquêtés

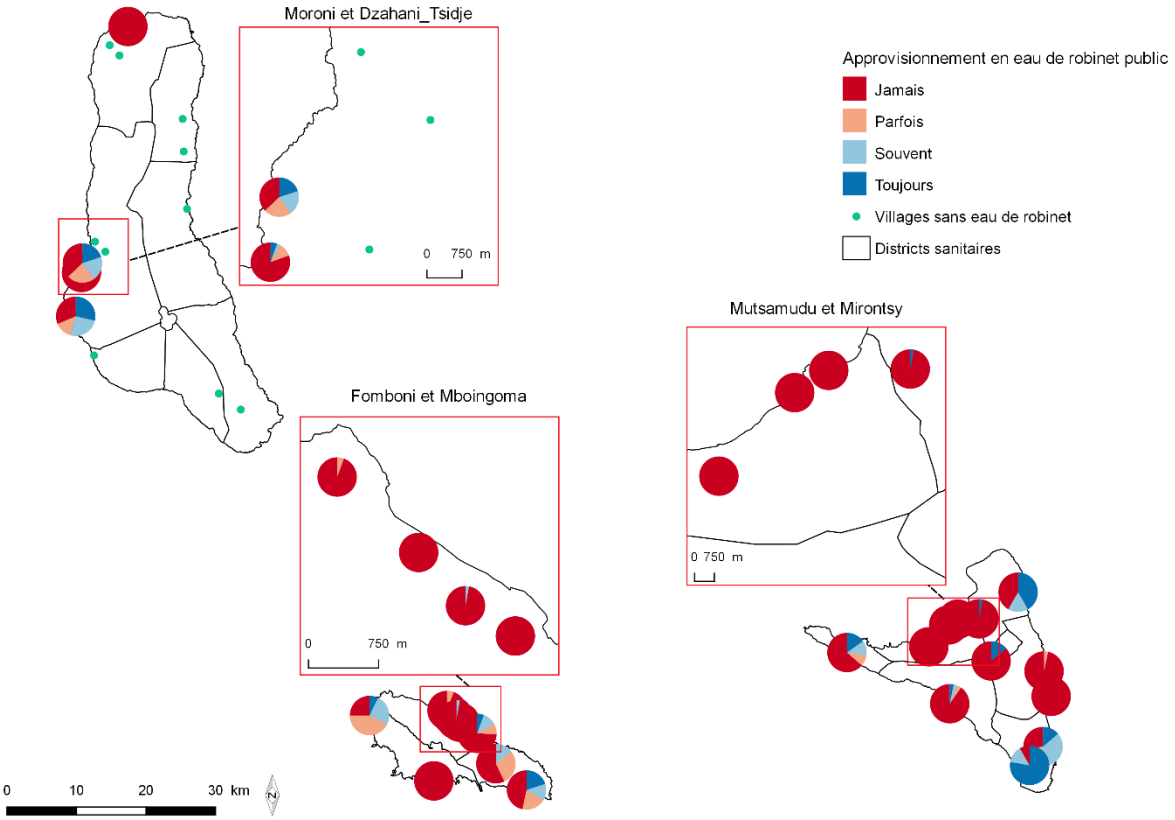


Figure 56 : Cartographie des ménages s'approvisionnant en eau de robinet public

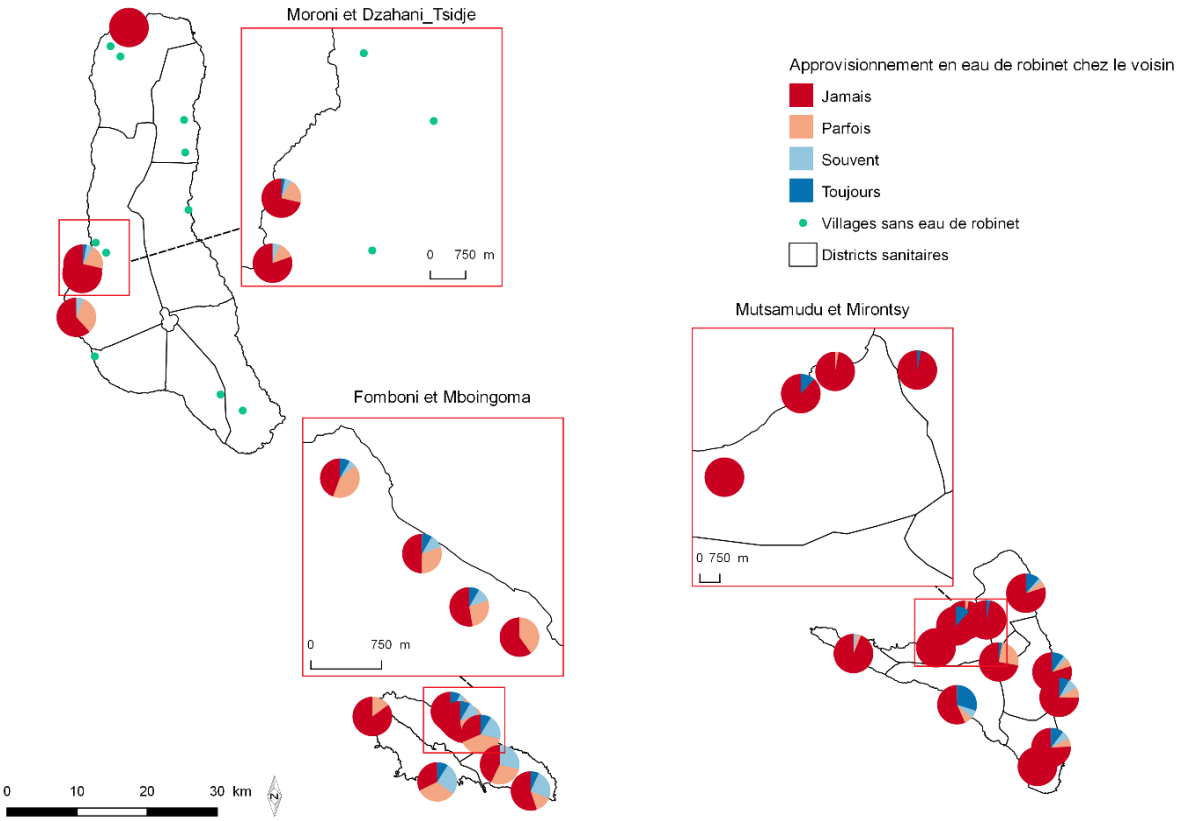


Figure 57 : Cartographie des ménages s'approvisionnant en eau de robinet chez le voisin

L’eau de citerne est la première source d’eau des ménages de la Grande Comore. Elle est accessible de façon permanente en moyenne à plus de 59% des ménages (Figure 55). Ces citernes se trouvent partout même les villes (Figure 59). Une citerne est un réservoir construit à côté ou dans le sous-sol de la maison avec des cailloux et du ciment (généralement 2x3x3 mètres) pour collecter l’eau de pluie avec une gouttière bricolée de tôles et ainsi la conserver (Photographie 26). C’est le système principal d’approvisionnement en eau à la Grande Comore. Il y a très peu de citernes dans les ménages à Anjouan et à Mohéli (≤10%) (Figure 55).

Ces citernes devraient être entièrement couvertes, soit par des tôles soit par une dalle en béton, pour protéger l’eau de toute intrusion qui pourrait altérer sa qualité. La première option est la plus privilégiée par les ménages car moins coûteuse. Ceux dont les moyens financiers sont limités ne couvrent pas leurs citernes et d’autres n’en disposent pas du tout.

Photographie 26 : Citerne avec gouttière en tôle en dehors du ménage à Hassendje à la Grande Comore

Les citernes couvertes ne représentent que 39% des ménages (Photographie 28) et les citernes non couvertes 20% à la Grande Comore (Photographie 29). Les citernes non couvertes s’observent beaucoup plus dans les zones rurales (23% des ménages) que dans les zones urbaines (10% des ménages). Il y a donc une différence significative entre les citernes non couvertes en milieu rural et milieu urbain ($F=5$, $p<0,05$).

Photographie 27 : Citerne couverte de tôles à Famaré à la Grande Comore

Photographie 28 : Citerne non couverte à Hassendjé à la Grande Comore

La disposition d'une citerne dans le ménage n'est pas systématique, car cela demande des moyens financiers pour la construire. Beaucoup de ménages ne disposent pas d'eau de citerne alors qu'ils en ont besoin dans leur quotidien. Dans une telle situation, certains ménages utilisent les citernes des voisins ou des citernes publiques pour s'approvisionner en eau. Les ménages se déplacent souvent (24%) ou parfois (32%) chez le voisin pour aller chercher de l'eau (Figure 60). Ceux qui ne disposent pas du tout de citerne vont souvent chez les voisins. Ceux qui ont une citerne avec une capacité limitée vont parfois chez les voisins. Se déplacer pour aller chercher de l'eau dans une citerne publique se fait parfois (19%) (Figure 60). Cela s'observe pendant la saison sèche où plusieurs ménages ne disposent pas d'eau dans leurs citernes. Les citernes publiques sont construites par des financements directs du village avec l'aide de la diaspora en France ou par le gouvernement comorien avec l'appui des programmes étrangers (PNUD, AFD, Union Européenne, Croix rouge française, Croissant rouge iranien, Fondation Raf…) (Photographie 30). Elles doivent alors servir à de nombreux ménages.

Photographie 29 : Citerne d'une école publique construite par l'état comorien et des partenaires étrangers à Hassendjé à la Grande Comore

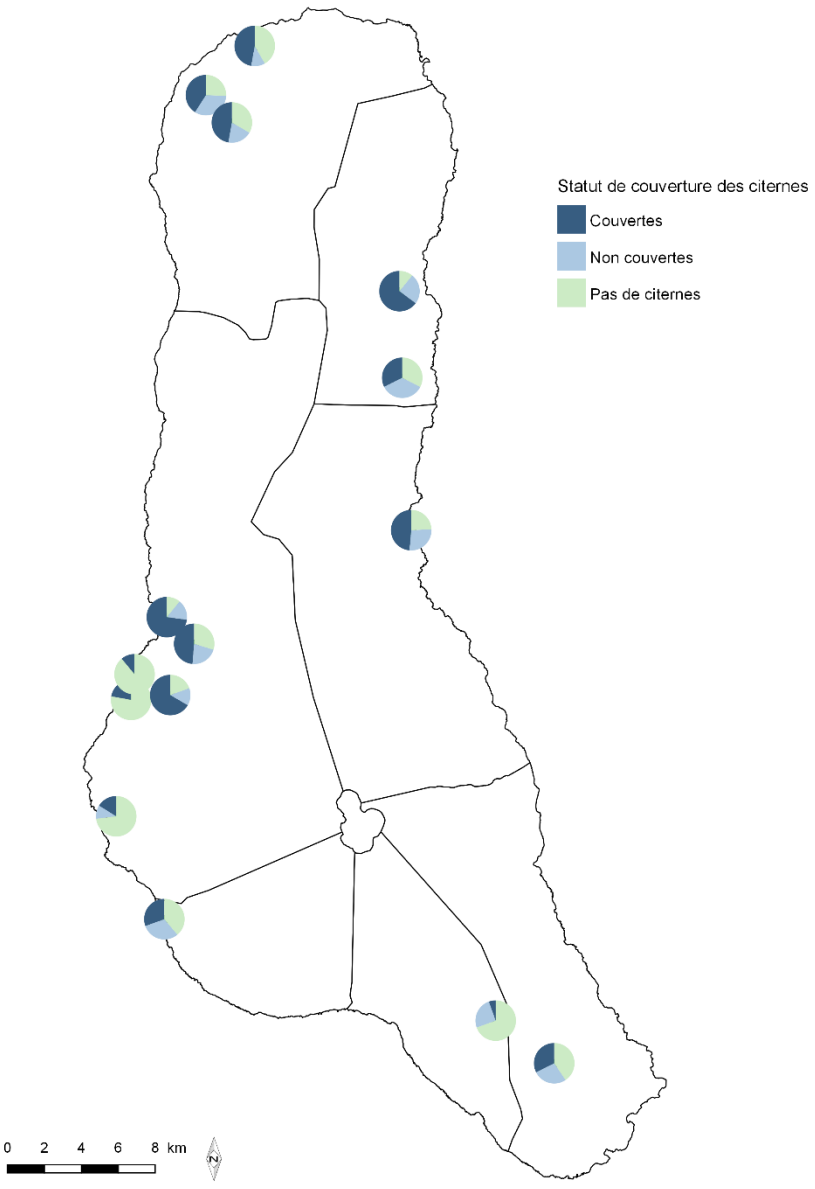


Figure 58 : Cartographie du statut de couverture des citernes des ménages à la Grande Comore

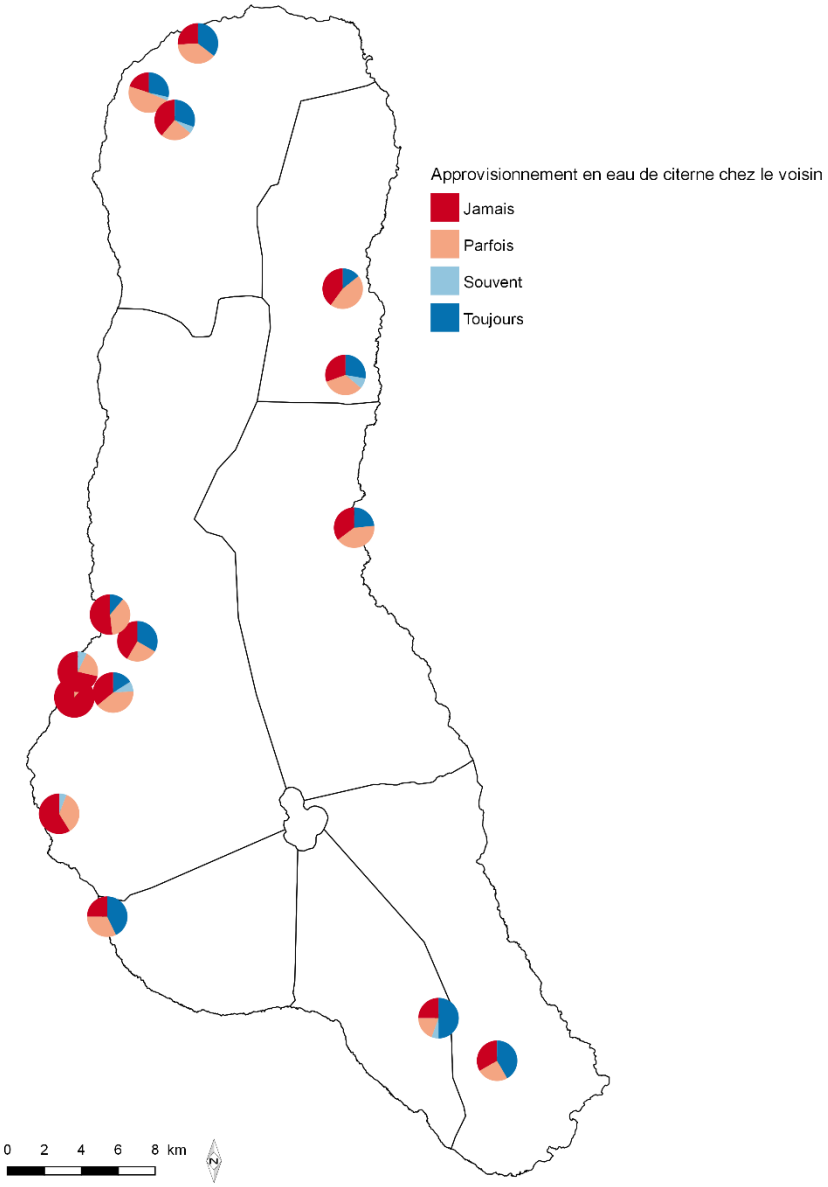


Figure 59 : Cartographie des ménages s'approvisionnant en eau de citerne chez le voisin à la Grande Comore

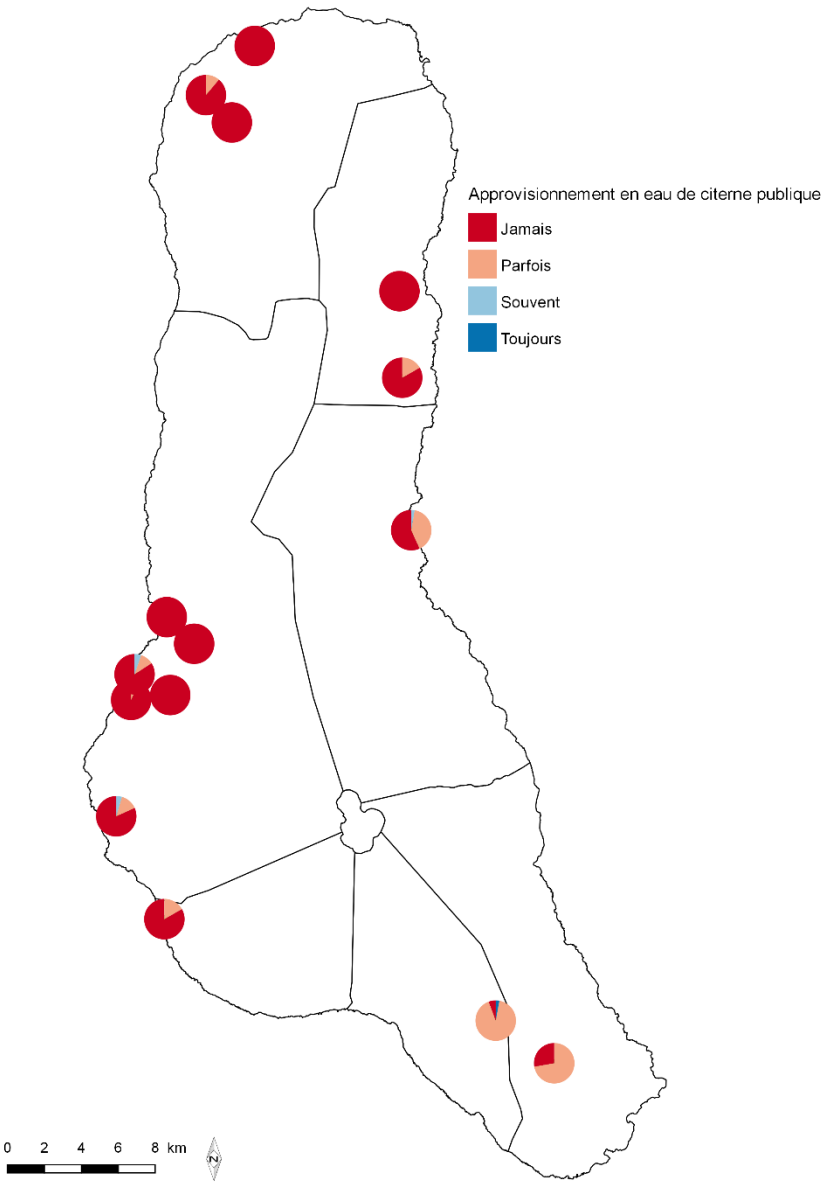


Figure 60 : Cartographie des ménages s'approvisionnant en eau de citerne publique à la Grande Comore

4.3.2 L'accès aux soins des ménages

Recours aux soins

En comparant la densité médicale (nombre de structures par population) aux choix des ménages enquêtés, les cartographies du recours aux Centres de Santé de District (CSD) et aux Postes de Santé montrent que le choix est guidé par la proximité des services (Figure 64 et 65).

La consultation dans les CSD est très variable selon les îles (Figure 61). Les ménages, qui consultent souvent dans un CSD, représentent 41% à Anjouan, 39% à Mohéli et 23% à la Grande Comore. A la Grande Comore, il y a peu de CSD comparé à la population dans le district Centre, d'où une fréquentation moyenne rare. Ainsi, la fréquentation des CSD est plus courante dans les villages que dans les villes : 28% des ménages ruraux et 7% des ménages urbains à la Grande Comore et 46% des ménages ruraux et 26% des ménages urbains à Anjouan. Cette différence entre les villes et les villages n'est toutefois pas significative.

Les PS sont généralement faiblement fréquentés (Figure 62). C'est à Mohéli où ils sont le plus fréquentés, avec 17% des ménages enquêtés qui y vont toujours. Ils sont parfois fréquentés à la Grande Comore (pour 26% des ménages enquêtés) et à Anjouan (pour 11% des ménages). Cette faible fréquentation des PS serait liée aux services proposés qui restent limités. Certains PS ne fonctionnent toujours pas (c'était le cas à Siri Ziroudani à Mohéli) et d'autres nécessitent une réhabilitation (comme cela a été le cas pour le poste de Itsamia, réhabilité par des volontaires américains).

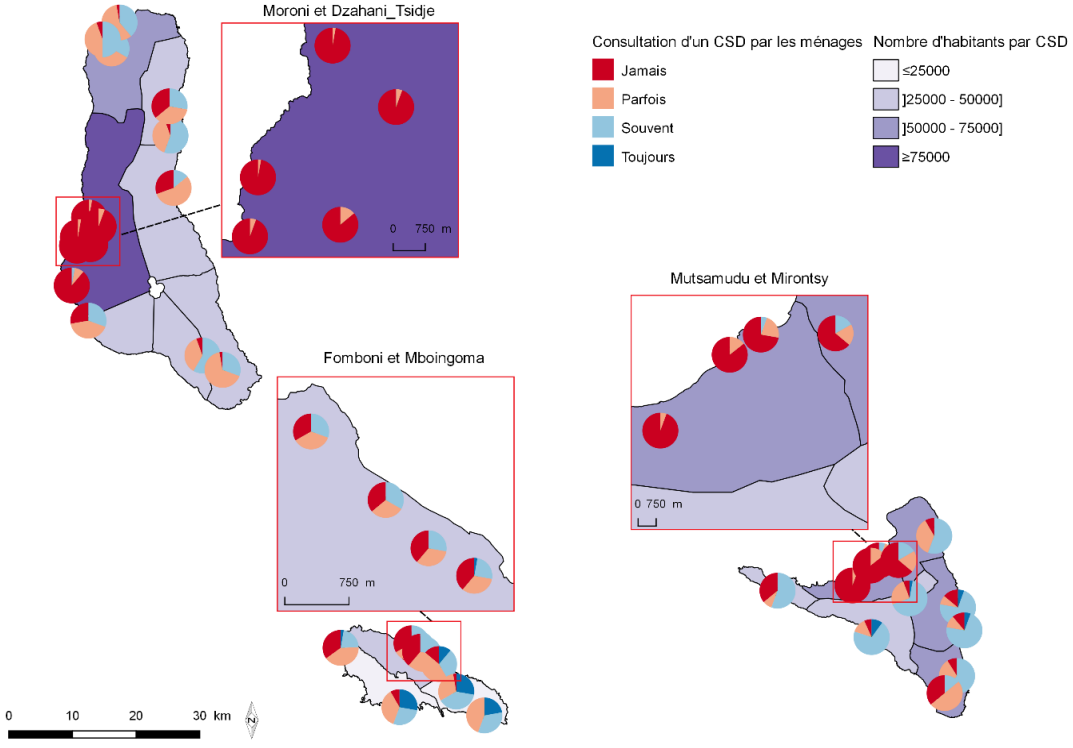


Figure 61 : Cartographie de la consultation dans les Centres de Santé de District (CSD)

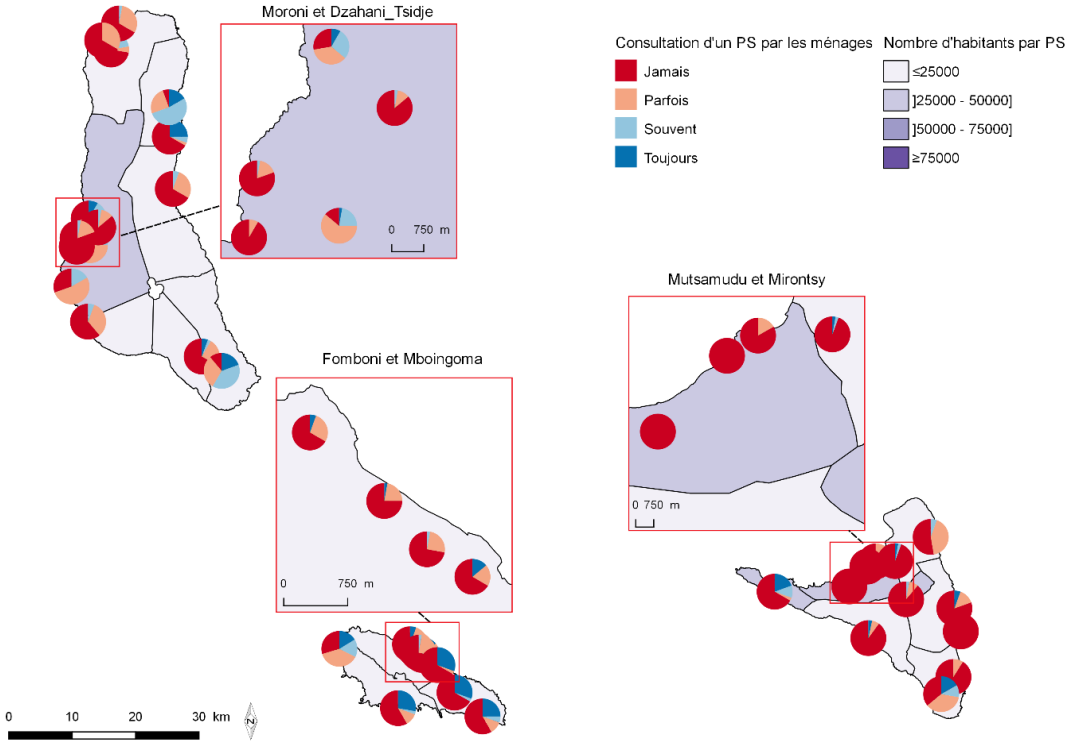


Figure 62 : Cartographie de la consultation dans les postes de santé

Consultation d'un médecin

La consultation d'un médecin n'est pas systématique pour les ménages des différentes îles et les différentes régions. A la Grande Comore, 52% des ménages consultent toujours un médecin, contre 43% à Anjouan et 42% à Mohéli (Figure 63).

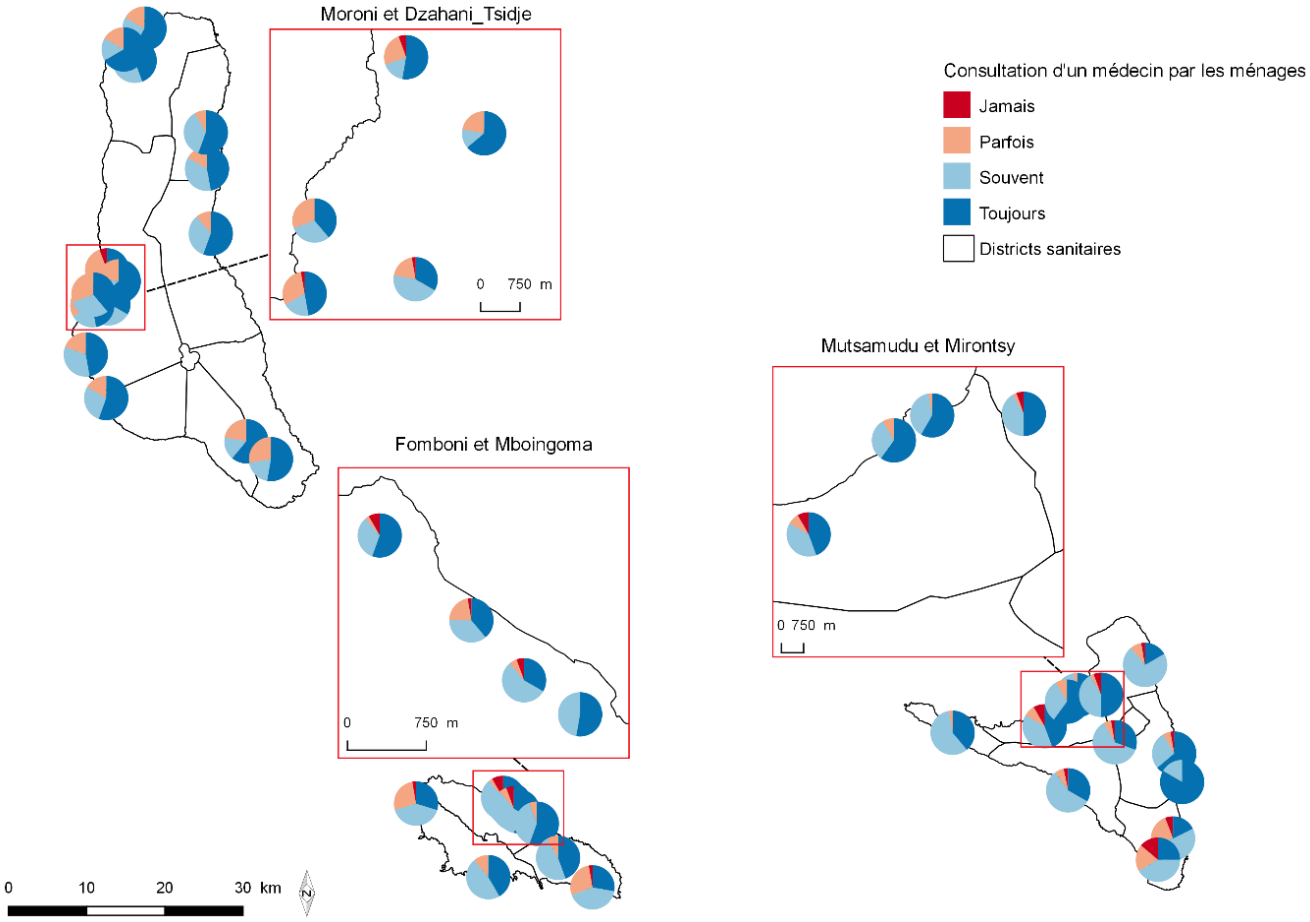


Figure 63 : Cartographie de la consultation d'un médecin par village

La consultation des médecins est à un taux similaire en zones urbaines et rurales : 53% et 49% à la Grande Comore et 45% et 38% à Mohéli. A Anjouan, la consultation des médecins est plus fréquente chez les ménages urbains (67%) que les ménages ruraux (36%) ($F=9$, $p<0,05$). Ce sont surtout les localités des districts de Mremani, Pomoni et Ouani où les ménages consultent moins régulièrement un médecin.

La principale motivation à aller chez un médecin est la recherche de soins de meilleure qualité pour plus de 90% des ménages interrogés sur les trois îles. Cela est surtout associé au souhait d'obtenir des médicaments pour plus de 70% des ménages enquêtés à Anjouan et Mohéli et à moins de 45% des ménages à la Grande Comore (Figure 64).

D'autres ménages choisissent le médecin pour des raisons de proximité : 52% à la Grande Comore, 29% à Mohéli et 17% à Anjouan (Figure 65). Cette préférence de proximité s'observe aussi bien en milieu urbain que rural.

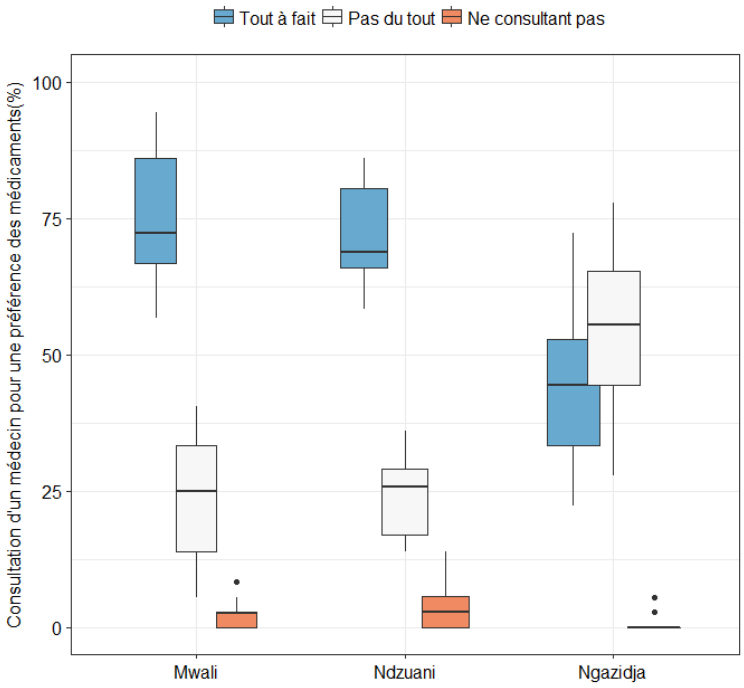


Figure 64 : Choix du médecin par préférence des médicaments

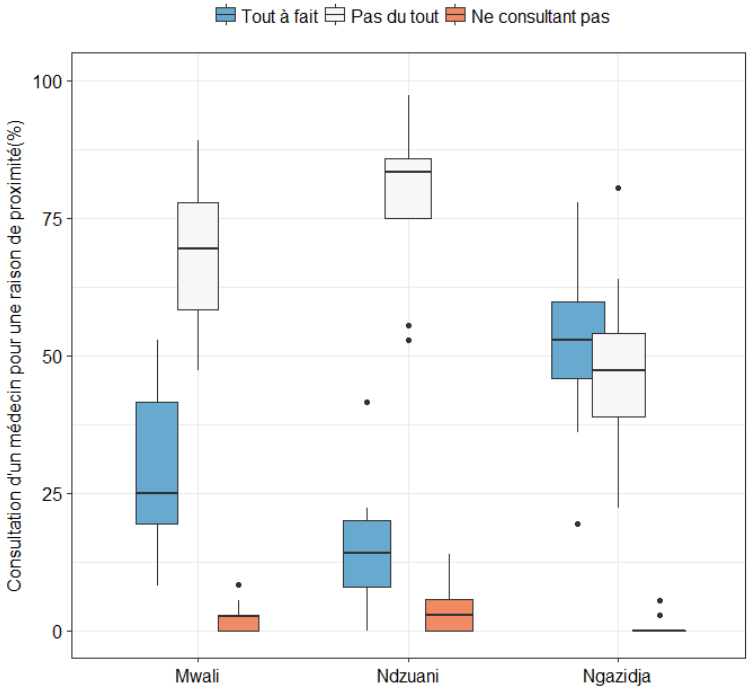


Figure 65 : Choix du médecin par proximité

Pour d'autres ménages, c'est la pression familiale qui guide ce choix du médecin. Cela représente 13% des ménages à Mohéli, 8% à la Grande Comore et 6% à Anjouan (Figure 66). Ces ménages s'observent beaucoup plus en milieu urbain à la Grande Comore (13% contre 6%) et à la fois en milieu urbain et rural à Mohéli (12% contre 16%) et à Anjouan (7% contre 6%).

Ce sont des ménages avec des moyens financiers très limités et qui attendent souvent le soutien de leur famille pour se rendre à l'hôpital. La famille joue un rôle considérable dans l'accès aux soins à différentes échelles. L'aide familiale, venant le plus souvent de la diaspora, conditionne d'une certaine manière l'accès aux soins de ces ménages. Et d'ailleurs, il est parfois possible qu'une personne malade ne consulte pas le médecin dans certains ménages.

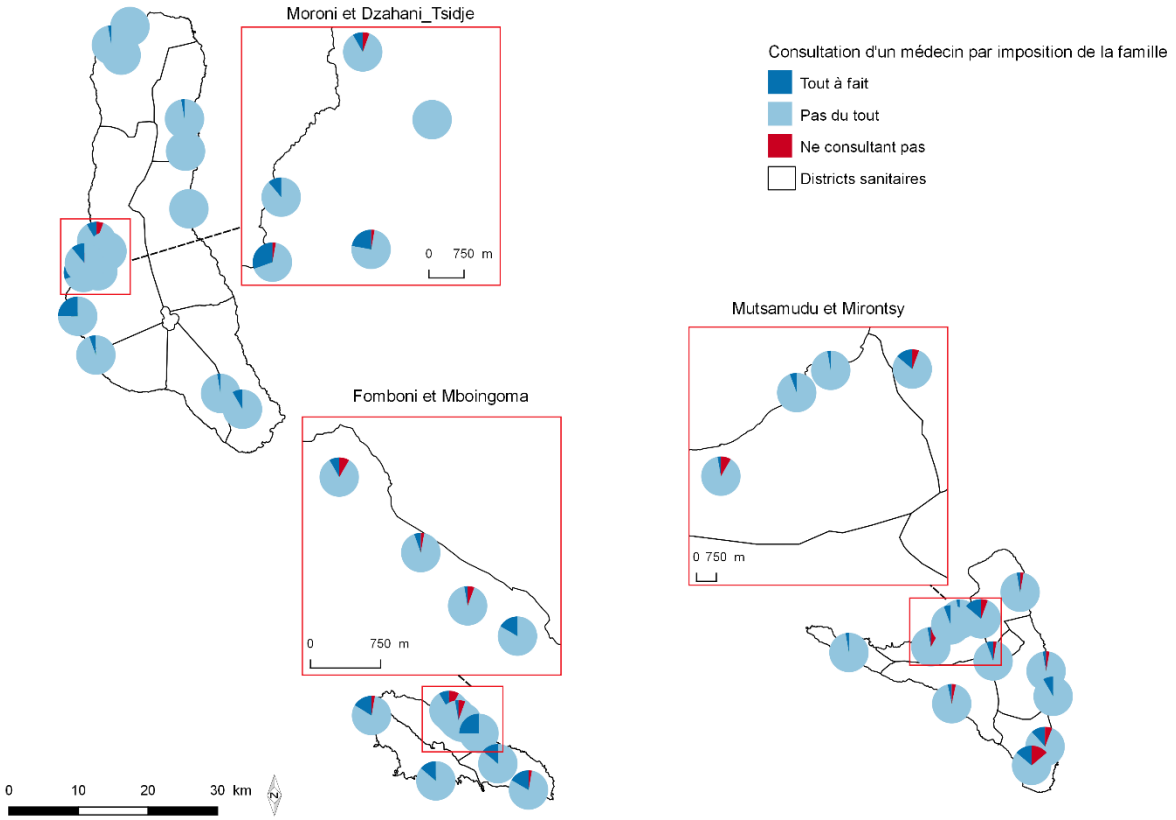


Figure 66 : Cartographie de la consultation d'un médecin par pression familiale

Il arrive parfois qu'une personne malade ne consulte pas le médecin pour 48% des ménages enquêtés à Mohéli, 42% à la Grande Comore et 38% à Anjouan. Cela est beaucoup plus fréquent dans les ménages ruraux que les ménages urbains sur l'ensemble des îles (Figures 67, 68), mais avec une différence significative à Anjouan ($F=9$, $p<0.05$). Le manque d'argent est la principale cause de non consultation d'un médecin pour 58% des ménages enquêtés à la Grande Comore, 54% à Anjouan et 46% à Mohéli. Le manque d'argent affecte

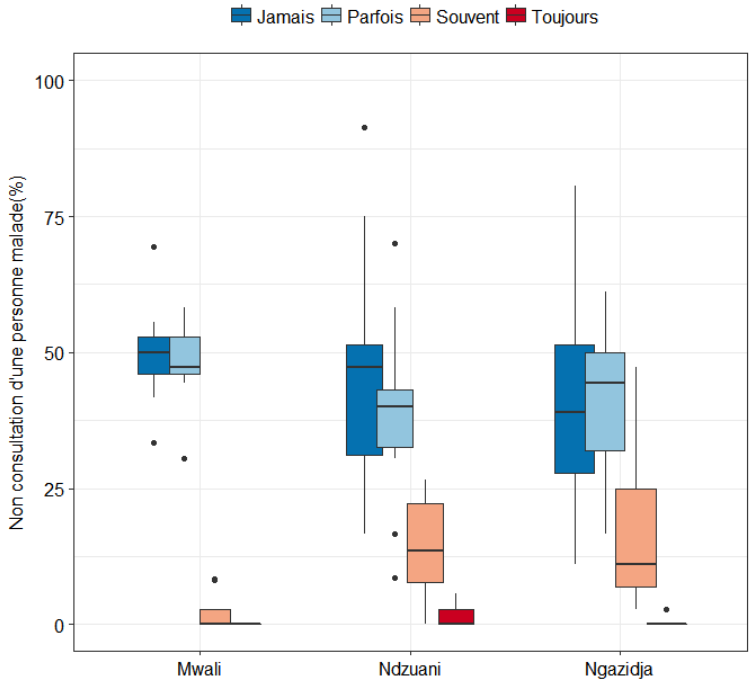


Figure 67 : Non consultation d'une personne malade

aussi l'achat des médicaments prescrits par le médecin. Il y a 46% des ménages enquêtés à Mohéli, 41% à la Grande Comore et 39% à Anjouan qui n'achètent parfois pas les médicaments prescrits par le médecin. Cela démontre une précarité des ménages pour l'accès aux soins.

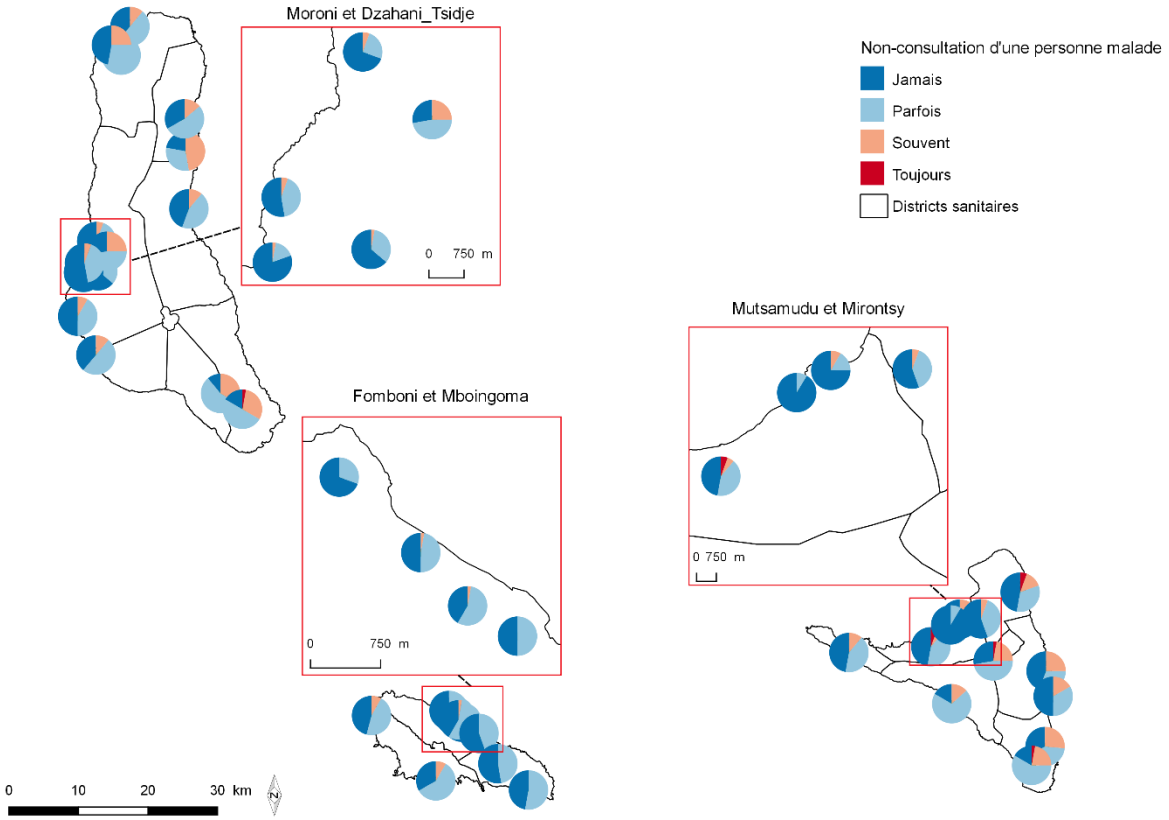


Figure 68 : Cartographie de la non consultation d'un malade

4.3.3 L’utilisation des moustiquaires

Cette enquête a été réalisée trois mois après la distribution par le PNLP des Moustiquaires Imprégnées d’Insecticide à Longue Durée d’action (MILDs) à la population des trois îles. Nous avons donc saisi cette occasion pour poser différentes questions aux ménages sur l’utilisation des moustiquaires.

La campagne s’est bien déroulée sur l’ensemble des districts, car le taux de couverture en MILDs a été supérieur à 75% de la population sauf dans le district de Mbadjini Ouest (Figure 69). L’enquête montre que la proportion de moustiquaires par rapport à la population des ménages enquêtés est de 91% à Mohéli, 73% à Anjouan et 70% à la Grande Comore (Figure 71). Ces résultats sont concordants à celle du taux de couverture en MILDs par le fait que la proportion de moustiquaires est supérieure à 75% sur la majorité des villes et des villages enquêtés sauf dans le district de Mbadjini Ouest (36).

La campagne de distribution a eu plus de succès à Mohéli que dans les autres îles. Cela peut s’expliquer par le fait qu’il y a très peu de villages à Mohéli (24) et que les équipes envoyées sur l’île parviennent plus facilement à couvrir l’ensemble des villages.

Les moustiquaires dont disposent les ménages ne parviennent pas toutes du PNLP. Celles distribuées par le PNLP sont blanches et visent à protéger des moustiques. Les ménages achètent parfois des moustiquaires larges, longues et plus belles pour décorer leurs chambres. L’achat des moustiquaires se fait par 43% des ménages enquêtés à Mohéli, 31% à Anjouan et 24% à la Grande Comore (Figure 70). Cette préférence esthétique serait une cause de non utilisation des moustiquaires distribuées aux ménages.

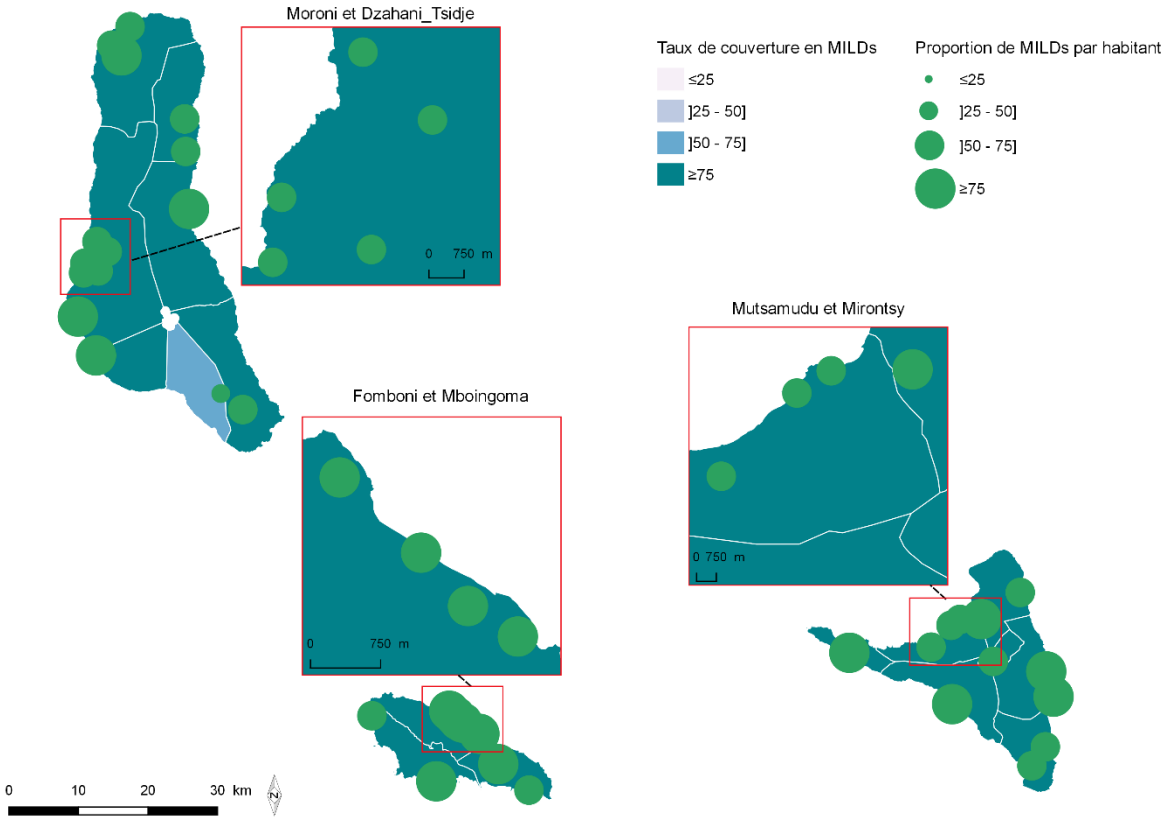


Figure 69 : Comparaison du taux de couverture en MILDs pendant la distribution

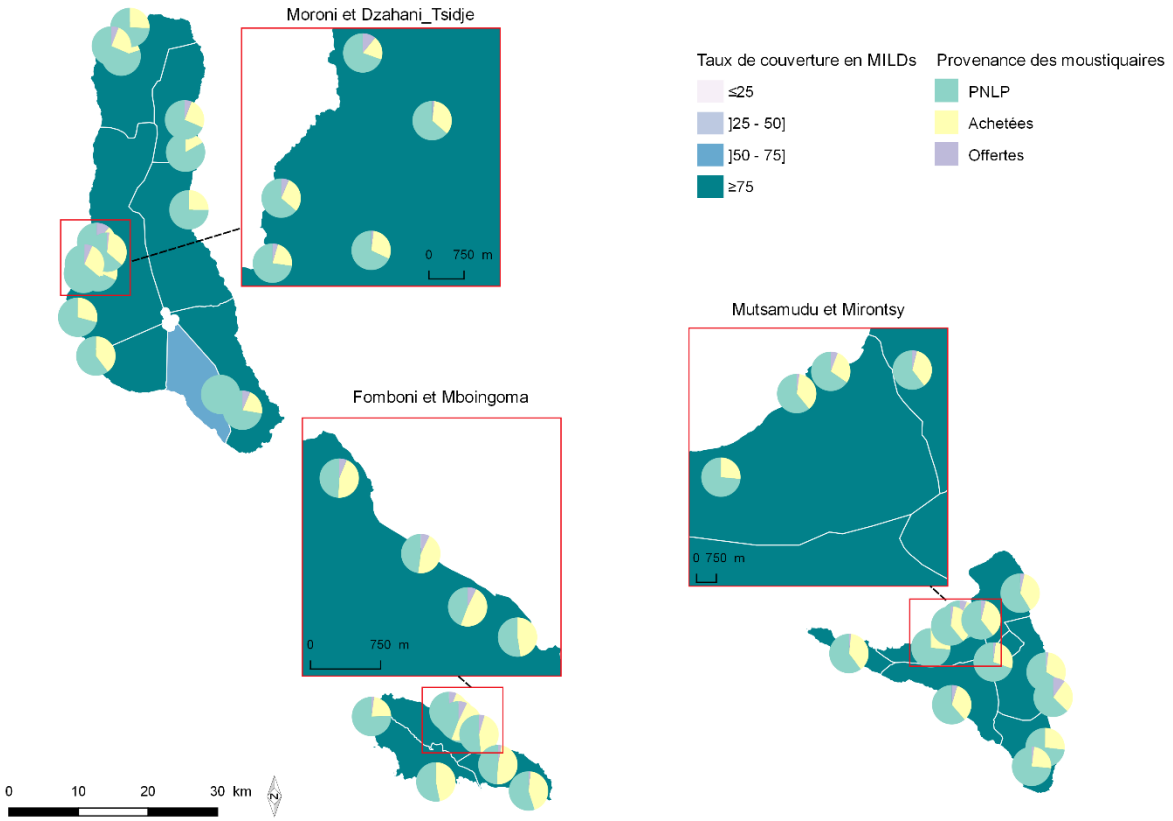


Figure 70 : Cartographie de la provenance des moustiquaires

En ayant questionné sur le nombre de lits couverts par des moustiquaires, nous avons pu déterminer le nombre de moustiquaires utilisées par rapport au nombre de moustiquaires dont disposent les ménages. Le taux de moustiquaires utilisées par les ménages est de 71% à la Grande Comore, 65% à Anjouan et 58% à Mohéli (Figure 71). Ce taux est d'autant plus faible par rapport aux ambitions du PNLP qui est d'atteindre plus de 95% de moustiquaires utilisées. À Anjouan, le taux de moustiquaires utilisées est le plus faible dans le district de Pomoni au Sud-Ouest, qui est pourtant une région avec une forte densité de vecteurs. Les ménages n'utilisent pas seulement les moustiquaires pour couvrir leurs lits. Durant l'enquête, nous avons pu observer des moustiquaires utilisées pour couvrir des arbres fruitiers (litchis) à la Grande Comore et des salades à Anjouan et à Mohéli (en espérant que celles-ci n'étaient plus imprégnées). Ce faible taux d'utilisation des moustiquaires entraîne une faible couverture des populations. En considérant uniquement les moustiquaires utilisées par les ménages et à raison d'une moustiquaire pour 1,8 personne, le taux de couverture de la population est de 95% à Mohéli, 88% à la Grande Comore et 86% à Anjouan (Figure 72). Ce taux est donc plus faible à la Grande Comore et à Anjouan.

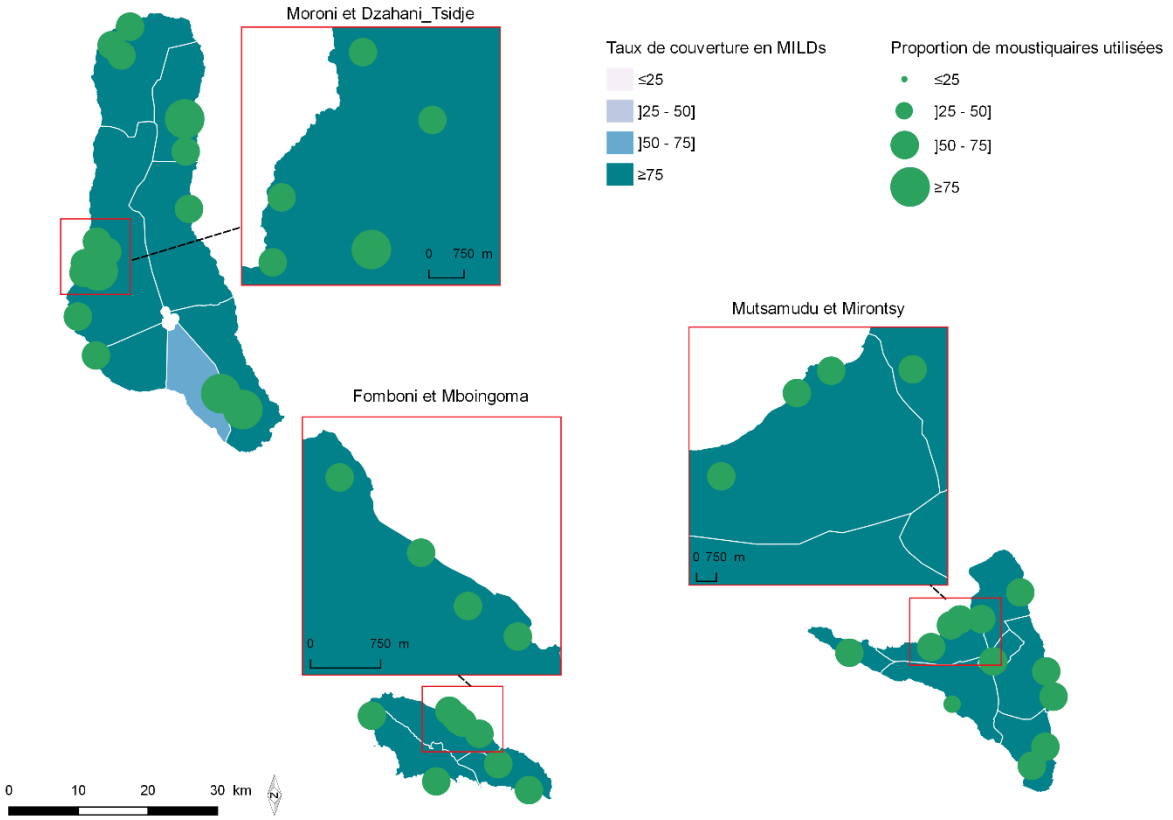


Figure 71 : Cartographie de l'utilisation des moustiquaires par les ménages

Plusieurs ménages ont déclaré qu'il y a des personnes qui ne souhaitent pas dormir sous moustiquaire. Ces ménages représentent 45% des ménages enquêtés à la Grande Comore, 6% à Anjouan et 2% à Mohéli (Figure 73). A la Grande Comore, ces ménages sont plus nombreux en milieu urbain (60%) qu'en milieu rural (39%) avec une différence très significative (F=12, p<0,01). Cette différence s'observe également à Anjouan (F=5, p<0,05) avec 15% des ménages urbains et 3% des ménages ruraux. Ces ménages sont donc plus vulnérables car ils vivent dans les zones où il y a plus de cas de paludisme. C'est un comportement à risque de transmission du paludisme beaucoup plus à la Grande Comore.

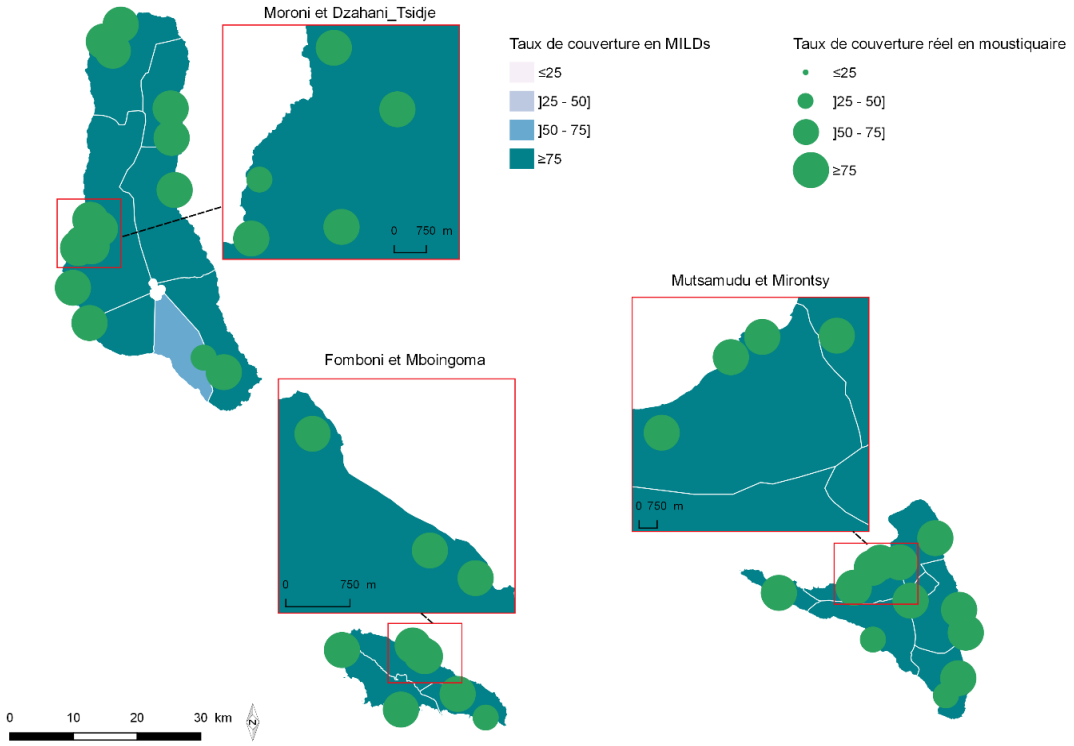


Figure 72 : Cartographie du taux de couverture réel des moustiquaires

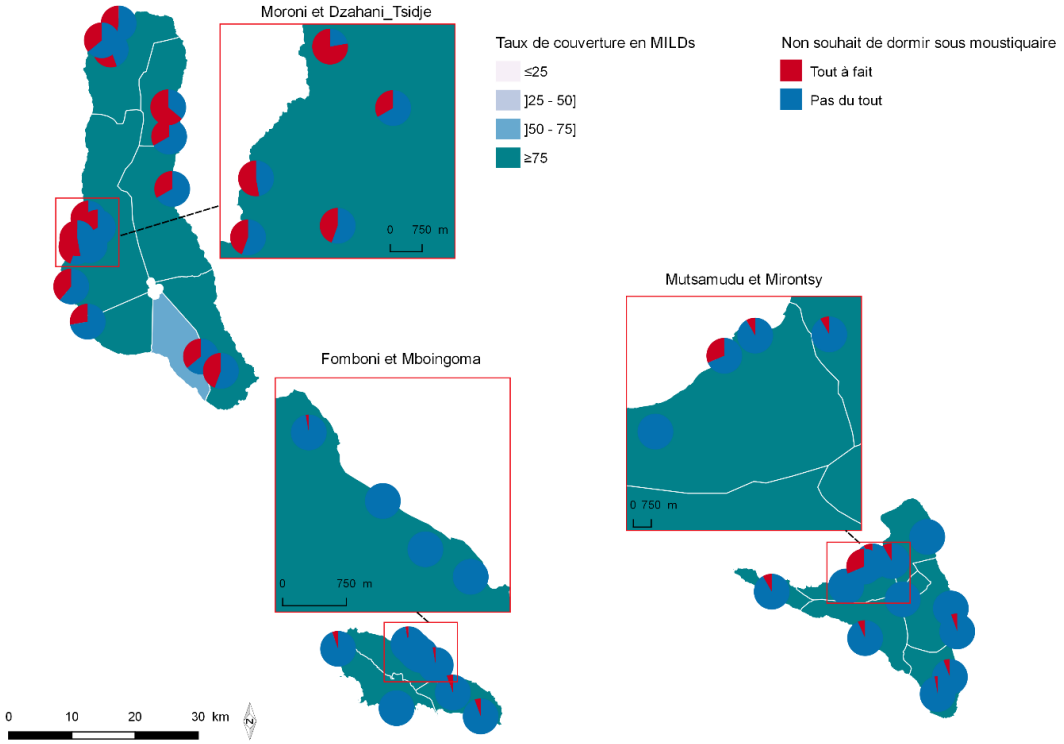


Figure 73 : Cartographie des ménages ne souhaitant pas dormir sous moustiquaire

4.3.4 Paludisme et vulnérabilité des populations au regard de l'accès à l'eau, de l'accès aux soins et de l'utilisation des moustiquaires à la Grande Comore

4.3.4.1 Incidence du paludisme dans les villes et les villages enquêtés à la Grande Comore

En 2016, il y a eu 124 cas de paludisme sur les quatre villes (quartiers) et onze villages enquêtés, soit une incidence de 313 cas pour 100 000 habitants. Cette incidence est représentative de la situation du paludisme de l'ensemble des villes (quartiers) et des villages de la Grande Comore au cours de cette même année 2016 (334 cas pour 100 000 habitants). L'incidence du paludisme est largement supérieure à la moyenne dans les localités urbaines (360 cas pour 100 000 habitants) et plus faible dans les villages (273 cas pour 100 000 habitants). Cette différence n'est pas statistiquement significative (F=0,32, p=0,582). Les 4/5 des cas notifiés proviennent de trois localités du district du Centre : Dzahani Tsidje (938 cas pour 100 000 habitants), Moroni Centre (969 cas pour 100 000 habitants) et Moroni Hankounou (338 cas pour 100 000 habitants) (Figure 74). Le village de Hensedje est la seule localité en dehors du district du Centre à avoir notifié plus de 500 cas pour 100 000 habitants. Aucun cas de paludisme n'a été enregistré dans quatre localités.

.

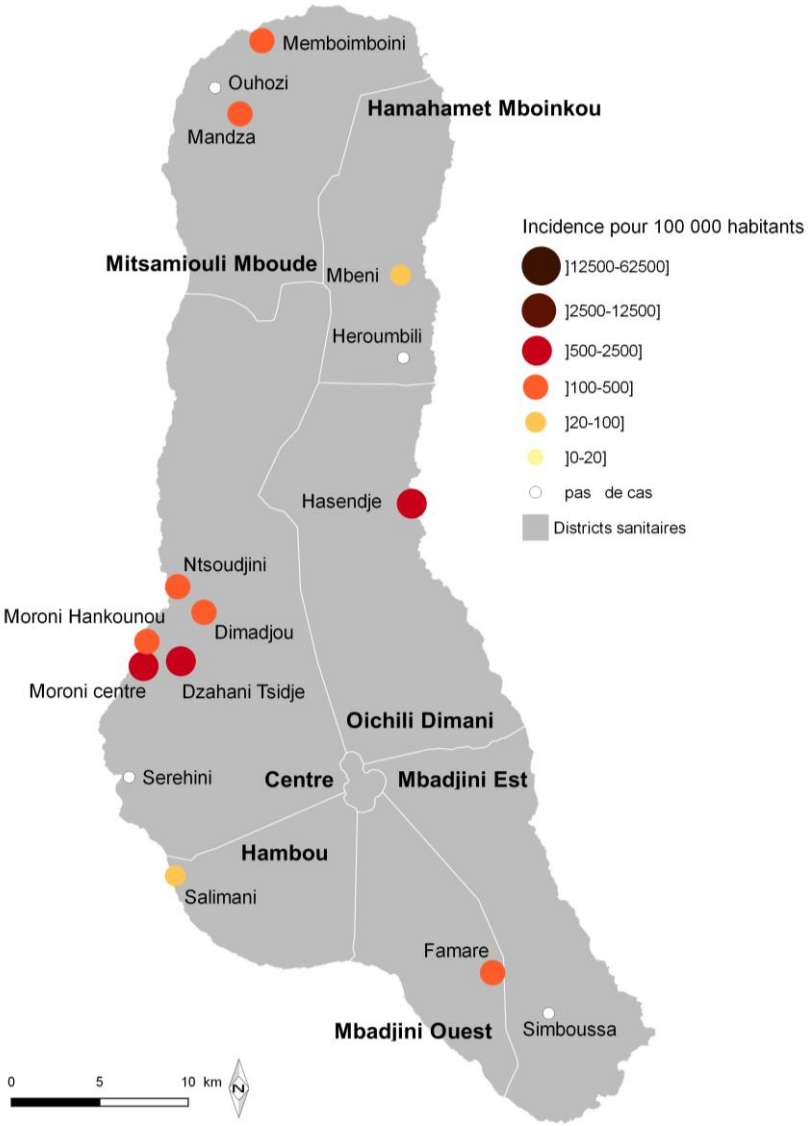


Figure 74 : Cartographie de l'incidence du paludisme pour les villes et les villages enquêtés à la Grande Comore en 2016

4.3.4.2 Corrélation entre facteurs socio-économiques et incidence du paludisme

Nous avons comparé l'incidence du paludisme aux variables issues de l'enquête (les conditions de vie l'accessibilité à l'eau, l'accessibilité aux soins et les comportements). Par rapport aux conditions de vie des ménages, L'incidence du paludisme est corrélée positivement à l'absence d'une cour/parcelle sur le lieu d'habitation et négativement au dépôt de déchets à l'extérieur de la maison et au niveau de scolarisation limité au niveau primaire

(Tableau 15). Les ménages des grandes villes (quartiers) ne possèdent pas de cour (parcelle) notamment dans la ville de Moroni : 90 % des ménages du quartier Moroni Centre et 80 % des ménages du quartier Moroni Hankounou. Les habitants de ces quartiers de Moroni n'ont pas la possibilité de déposer les déchets en dehors de leur lieu d'habitation (-3 %) alors que cela se fait très souvent dans les ménages ruraux (+40 %). La limite de scolarisation au niveau primaire est élevée en milieu rural (24,4 %) comparée au milieu urbain (16,3 %), mais sans différence significative (F=2,07, p=0,173).

Tableau 15 : Coefficients de corrélation significatifs entre les facteurs socio-économiques et l'incidence du paludisme à l'échelle des localités enquêtées à la Grande Comore

Domaines de mesures	Variables	r	RR	P-value
Conditions de vie	absence d'une cour/parcelle dans le ménage	0,56	0,32	0,0266*
	dépôt de déchets (à l'extérieur du ménage)	-0,54	0,29	0,0363*
	limite de la scolarisation (niveau primaire)	-0,56	0,31	0,0012**
Accès à l'eau	citerne (couverte)	0,53	0,28	0,0416*
Accès aux soins	non consultation d'une personne malade (jamais)	0,57	0,33	0,0237*
	aller à l'hôpital en voiture personnelle (parfois)	0,64	0,41	0,0101*
	consultation dans un cabinet privé (souvent)	0,56	0,31	0,0298*
Comportements de prévention	nombre de moustiquaire par ménage	-0,53	0,28	0,0384*
	prise du traitement de masse de 2013 (aucune personne)	0,55	0,31	0,0308*

Par rapport à l'accessibilité à l'eau, l'incidence du paludisme est corrélée positivement et significativement avec la présence des citernes, même si elles sont couvertes (r=0,53, p<0,05). Le taux de couverture des citernes disponibles dans les ménages est significativement (F=8,59, p<0,05) plus élevé dans les villes (88,63 %) que dans les localités rurales (59,45 %). Certaines localités dépassent 80 % de couverture en citernes (Ntsoudjini, Dzahani Tsidjé, Memboimboini et les deux quartiers de Moroni) (Figure 75).

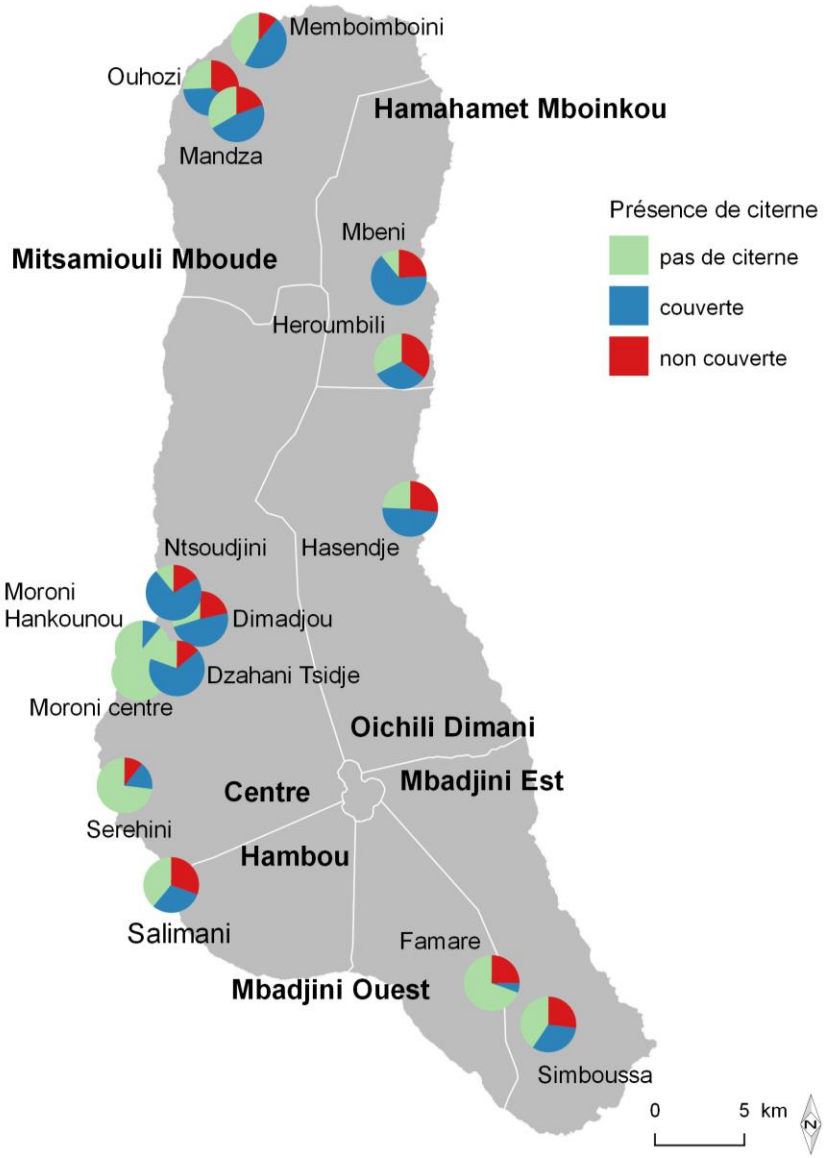


Figure 75 : Cartographie de la présence de citerne (couverte ou pas) dans les ménages enquêtés à la Grande Comore

L'incidence du paludisme est corrélée positivement à des variables d'accessibilité aux soins : les personnes malades qui ne consultent pas, le déplacement en voiture personnelle et la consultation dans un cabinet privé. 41% des personnes en milieu urbain ne consultent pas de médecin lorsqu'elles sont malades contre 64,65% en milieu rural (réponse « jamais » à la question : « non consultation d'une personne malade ») ($F=5,66$, $p<0,05$). Dans le district du Centre, cela concerne 50% des ménages, sauf à Dimadjou Ya Itsandra (72,3%). Il y a moins de 20% des ménages qui ont la possibilité de se rendre à l'hôpital avec une voiture personnelle en milieu urbain tout comme en milieu rural. Toutefois, plus de 25 % des habitants du quartier de Moroni Centre ont la possibilité de se déplacer en voiture personnelle. Ces mêmes habitants consultent souvent dans un cabinet du privé à hauteur de 66,66 % alors que la moyenne est de 24 % pour l'ensemble des ménages enquêtés.

En regardant le comportement des ménages vis-à-vis de la prévention contre le paludisme, l'incidence du paludisme est corrélée négativement avec le nombre de moustiquaires par ménage et positivement avec la non prise du traitement de masse de 2013 pour l'ensemble des ménages enquêtés. Dans l'ensemble des villes (quartiers) et villages, les ménages ont reçu en moyenne quatre moustiquaires. Toutefois, certains ménages en ont eu moins comme à Dzahani Tsidje, Moroni Hankounou, Moroni Centre et Heroumbili. Plusieurs ménages des villes (quartiers) et des villages du district du Centre ont avoué qu'aucune personne n'avait pris le traitement de masse de 2013 : Dzahani Tsidjé (19,44 %), Moroni Hankounou (14 %), Moroni Centre (11,11 %) et Ntsoudjini (13 %). Seul le village de Salimani Ya Hambou, en dehors de ce district, a atteint 11 % de non prise du traitement de masse. Ce refus est très faible en zone rurale (4 %).

4.4 Discussion

L'enquête sur les ménages a permis de mettre en évidence des facteurs de vulnérabilité des populations favorables à la transmission du paludisme. La corrélation de l'incidence avec l'absence d'une cour/parcelle et le lieu de dépôt des déchets met en évidence la difficulté de gestion des déchets dans les grandes villes (CISSE, 2007 ; Ali *et al*., 2015). Dans les quartiers densément urbanisés de la ville de Moroni, les ménages manquent d'une cour pour déposer leurs déchets ménagers en attendant le ramassage par les camions de la commune (Figure 108). À défaut de passage des camions, il arrive souvent que les ménages soient contraints de garder leurs déchets chez eux ou de les déposer dans une décharge sauvage dans le quartier (Ali *et al*., 2015). Dans le quartier de Moroni Centre, 64 % déclarent déposer leurs déchets dans le quartier et 39 % attendent le ramassage par un camion. Dans le quartier de Moroni Hankounou, 22 % des ménages déclarent laisser les déchets dans leur maison (Figure 77). Il suffit d'une boîte remplie d'eau parmi ces déchets pour que les moustiques se développent. Selon Blanchy, toutes sortes de réservoirs d'eau domestiques forment des gîtes larvaires à la Grande Comore (Blanchy *et al*., 1987). Ces déchets sont donc des gîtes larvaires à proximité des foyers et constituent ainsi un risque permanent de transmission du paludisme. Ce risque serait donc réduit si les déchets étaient déposés en dehors des lieux d'habitation et mieux gérés ($r=-0,54$, $p<0,05$). Les citernes de collecte d'eau de pluie dans les ménages (même couvertes) sont des gîtes larvaires permanents et un risque accru de transmission du paludisme ($r=0,53$, $p<0,05$). Les citernes sont identifiées comme étant les réservoirs favorables de développement d'*Anopheles gambiae* (Chauvet, 1968 ; Raynal, 1928b), le

vecteur principal responsable de la transmission du paludisme aux Comores (Blanchy *et al.*, 1987 ; Ouledi, 1995 ; Blanchy *et al.*, 1999).

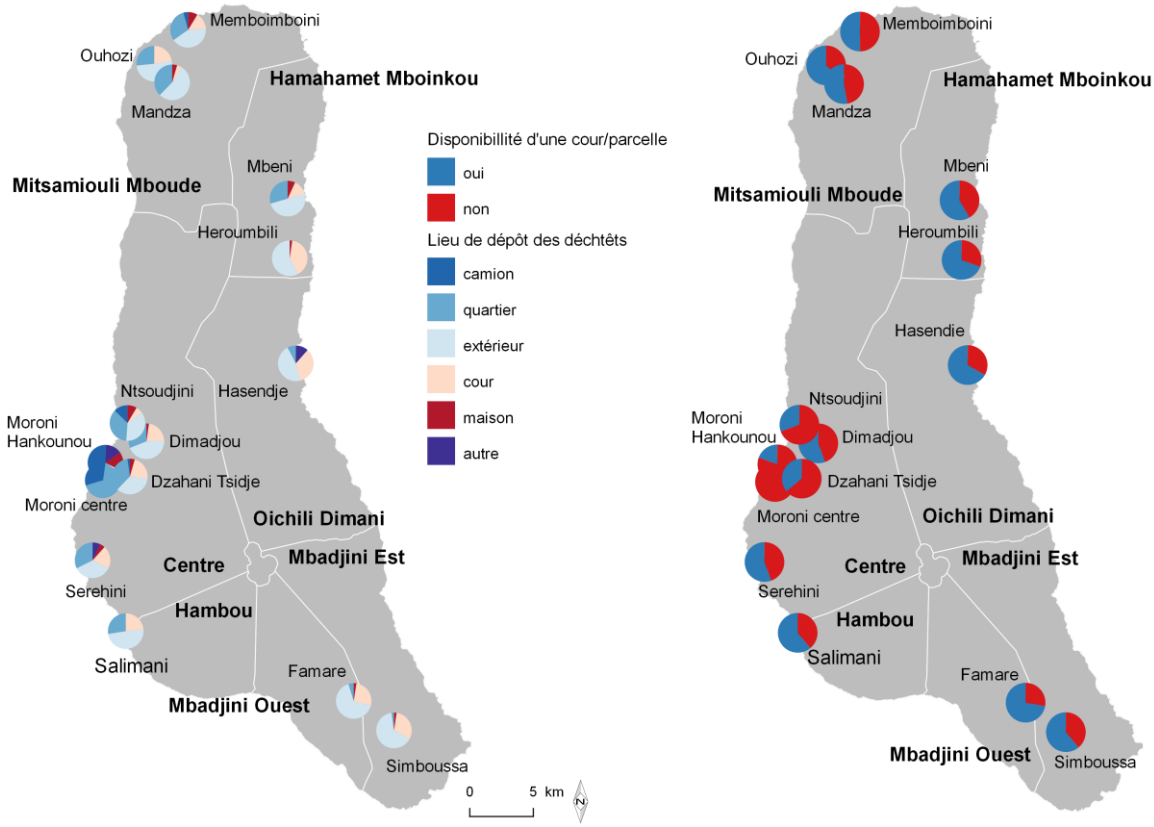


Figure 76 : Cartographie de la présence d'une cour/parcelle et du lieu de dépôt des déchets ménagers dans les ménages enquêtés à la Grande Comore

L'incidence du paludisme est corrélée négativement avec la proportion de personnes ayant arrêté leurs études au niveau primaire. Cette corrélation traduit un paradoxe entre les populations urbaines et rurales dans la mise en œuvre des mesures de prévention et de protection contre le paludisme. En milieu rural, les ménages accepteraient davantage de mettre en œuvre les mesures de prévention et de protection contre le paludisme malgré le taux élevé de personnes ayant abandonné leurs études au niveau primaire (24,6 %). Or, dans les grandes villes où sont les plus instruits, certains ménages refusent des mesures de prévention et de protection contre le paludisme, notamment la prise du traitement de masse de 2013 où le taux de refus a dépassé 10 % dans les grandes villes. Ce refus est fortement associé à l'incidence du paludisme ($r=0,55$, $p<=0,05$). Ceci contribue à expliquer que le paludisme se maintient dans ces villes bien que, dans la plupart des ménages, les personnes malades vont consulter un médecin (voir même un médecin privé) et en voiture personnelle.

La distribution des moustiquaires est une des actions préconisées pour la lutte contre le paludisme. Nous avons ainsi observé cet effet de protection avec une corrélation négative entre l'incidence du paludisme et le nombre de moustiquaires par ménages. Nous avons dénombré en moyenne quatre moustiquaires par ménage (Figure 78). Certains ménages ruraux (ayant moins de 3 000 habitants) pouvaient recevoir jusqu'à six moustiquaires et moins de quatre moustiquaires dans les ménages en ville (plus de 3 500 habitants). Y'aurait-il eu des difficultés de distribution des moustiquaires ? Les ménages des villes auraient-ils refusé les moustiquaires ? Dans ces villes, il est difficile de couvrir 100 % des ménages durant le recensement et il est possible que le nombre de moustiquaires nécessaires ait été sous-estimé. Certaines personnes des villes refusent de faire la queue pour les récupérer et d'autres n'en veulent pas du tout et préfèrent se procurer d'autres moustiquaires. Ces comportements compromettent les efforts de la lutte contre le paludisme en zone urbaine.

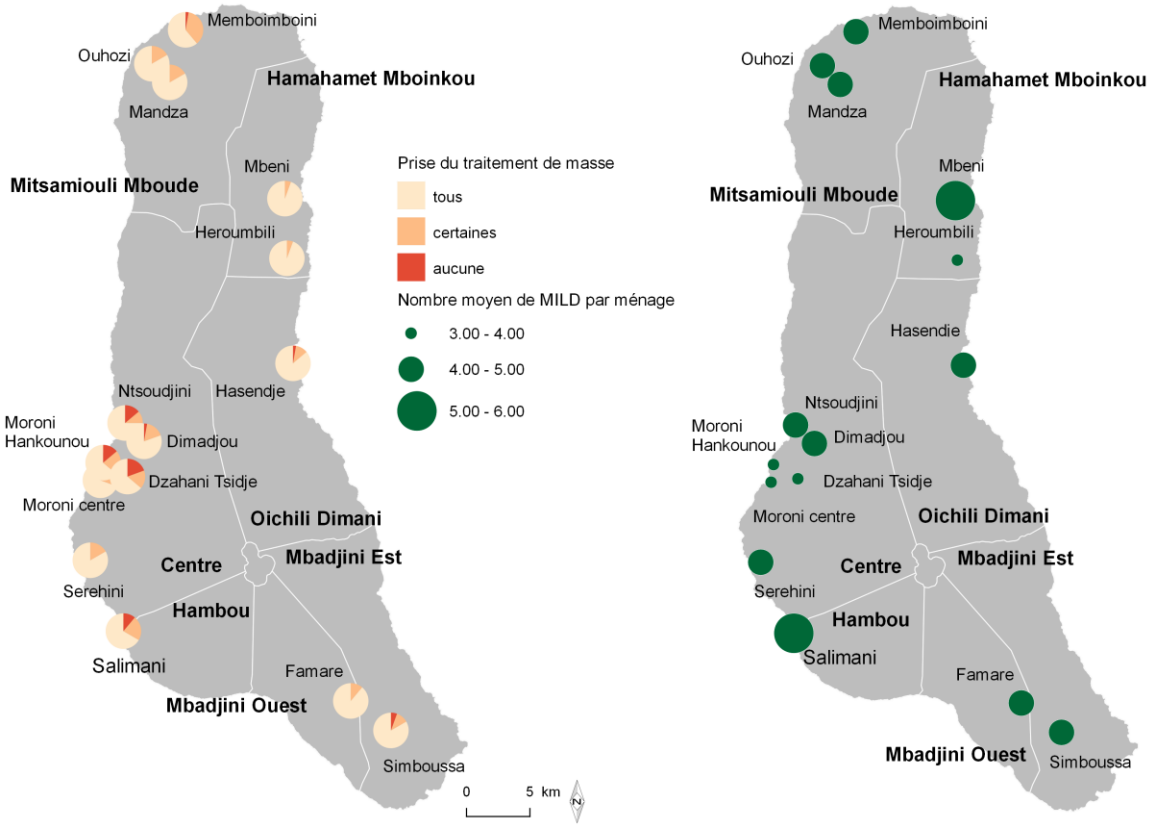


Figure 77 : Cartographie de la couverture des MILDs et du refus du traitement de masse des ménages enquêtés à la Grande Comore

L'enquête sur les connaissances, les pratiques et les vulnérabilités confirme les inégalités sur les conditions de vie, sur l'accès à l'eau, sur l'accès aux soins et sur les facteurs de vulnérabilité face au paludisme entre les îles. La cartographie des variables permet de mieux observer ces inégalités à l'échelle des localités. Aucune enquête en santé n'avait jusqu'à

présent permis de cartographier ces inégalités aux Comores. Les enquêtes présentent habituellement des tableaux et des graphiques pour illustrer les résultats. L'« **Enquête Démographique et de Santé et à Indicateurs Multiples (EDSC-MICS II) de 2012** » est la dernière enquête en santé de référence nationale sur les Comores. Cette étude décline les résultats à différentes échelles : Moroni, les autres villes, ensemble urbain et rural (Commissariat au Plan, 2014). Avec ces échelles, il est impossible de situer les villages les plus vulnérables et même les villes. Il est donc difficile de cibler les stratégies et les mesures de terrain sans une précision cartographique. Cette étude devrait ainsi contribuer à l'aide à la décision pour les responsables politiques et les gestionnaires de santé afin de mieux cibler la lutte et la prévention contre les maladies.

Nous avons pu mettre en relation le paludisme et les facteurs de vulnérabilité des populations par la cartographie de l'incidence et des variables socio-économiques à l'échelle des localités de la Grande Comore. C'est la première fois qu'une telle étude est faite aux Comores. Nous avons pu voir que les problèmes de gestion des déchets dans la capitale ont un rôle sur la transmission du paludisme. Il est donc important d'intégrer des actions de sensibilisation sur les conditions d'hygiène et d'assainissement des ménages au-delà des actions de prévention et de protection. Cette étude démontre également les difficultés de la mise en œuvre des actions de lutte et de prévention dans les grandes villes. La couverture de la distribution des moustiquaires et du traitement de masse n'ont pas été un succès dans les grandes villes comme cela a pu l'être dans les villages. La première difficulté serait la taille de la population dans ces villes ou bien des moyens insuffisants pour les acteurs de terrain afin d'atteindre leurs cibles. Une deuxième difficulté serait le refus de la population à mettre en œuvre les actions de prévention et de lutte. Ces difficultés ont donc un impact sur le maintien du paludisme dans ces zones géographiques. Les efforts doivent être déployés dans ces villes afin de résoudre ces problèmes. Les meilleures conditions de vie que possèdent certains ménages dans les villes ne les protègent pas pour autant du paludisme. Il serait donc une erreur d'exclure ces ménages dans les campagnes sous prétexte qu'ils ont de meilleures conditions de vie.

L'étude des facteurs de vulnérabilité des populations favorables à la transmission du paludisme pourrait être encore approfondie à travers des analyses multicritères pour construire des modèles.

Au-delà du paludisme, cette enquête informe d'une manière plus générale sur les inégalités de santé, en particulier d'accessibilité et de recours aux soins, et sur des facteurs de vulnérabilité qui peuvent être aussi favorables à la transmission d'autres maladies, comme la fièvre typhoïde, des maladies diarrhéiques et vectorielles.

DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALES

Eléments de discussion à retenir

L'évolution spatiale et temporelle du paludisme en Union des Comores a été cartographiée à l'échelle des structures de soins et des districts sanitaires de 2010 à 2017 et à l'échelle des villes et des villages pour la Grande Comore en 2016. A l'échelle des structures de soins et des districts sanitaires, nous avons pu comprendre la situation épidémiologique du paludisme avant son recul (voire l'élimination). À l'échelle des structures de soins, nous avons cartographié la prévalence des cas de paludisme chez les patients (moins de 5 ans, plus de 5 ans et femmes enceintes) des structures de soins publiques alors qu'à l'échelle des districts sanitaires, nous avons cartographié l'incidence des cas de paludisme notifiés à la fois dans les structures de soins et dans les actions d'investigation de terrain du PNLP. À travers ces deux échelles, nous avons observé que le paludisme a été très élevé durant la période 2010-2013. La prévalence moyenne par an a été de 3 806 cas pour 10 000 enfants à la Grande Comore, 1 047 cas à Anjouan et 584 cas à Mohéli. À l'échelle des districts, la Grande Comore a notifié une incidence annuelle de plus de 14 000 cas pour 100 0000 habitants durant 2010-2013 alors que les autres îles n'ont jamais atteint 10 000 cas pour 100 000 habitants. La non-intégration des structures privées dans l'étude de la prévalence reste une limite non négligeable. À l'échelle des districts, on observe très peu de variations de l'incidence bien qu'elle reste plus élevée dans le district du Centre. La prévalence a été très élevée dans les structures de soins publiques des zones rurales. Ce sont les cas de surveillance active qui font augmenter l'incidence à l'échelle des districts sanitaires. Le nombre de consultations pour cause de paludisme a été plus élevé en milieu rural qu'en milieu urbain. C'est pourquoi le paludisme a été la première cause de morbidité et un problème de santé majeur en Union des Comores (Ouledi *et al*., 2012 ; Commissariat au Plan, 2014).

Cependant, le recul du paludisme s'observe également à l'échelle des structures de soins tout comme à l'échelle des districts sanitaires. La prévalence a considérablement diminué entre 2012 et 2013 à Anjouan (98 %), à Mohéli (93 %) et à la Grande Comore (99 %) entre 2013 et 2014. L'incidence du paludisme a diminué de 82,5 % à Mohéli, de 96,8 % à Anjouan entre 2012 et 2013 et de -92,6 % à la Grande Comore entre 2013 et 2014. Les analyses statistiques confirment que le recul du paludisme est fortement associé aux actions de lutte faites à l'échelle des districts sanitaires, notamment le traitement de masse, qui avait donné des résultats satisfaisants aussi à Mohéli (Li *et al*., 2010 ; Deng *et al*., 2014). Toutefois, le maintien du paludisme s'explique aussi par l'amélioration du diagnostic et du traitement des

cas de paludisme durant la période 2014-2016. Depuis 2014, l'ensemble des structures de soins d'Anjouan et de Mohéli ont atteint 100 % de traitement des cas de paludisme simple par le Coratem (ACT) alors que la Grande Comore est à 99,68 %. Ces médicaments (ACT) ont été très efficaces dans le traitement du paludisme à *P. falciparium* dans les îles de l'archipel des Comores (Tall *et al*., 2004 ; 2007). Les cas non traités favorisent le maintien du paludisme à la Grande Comore qui reste en phase de contrôle alors que les autres îles sont en phase de pré-élimination (Toyb *et al*., 2016).

Le maintien du paludisme à la Grande Comore s'observe à l'échelle des districts sanitaires, mais également à l'échelle des villages. Depuis 2016, l'incidence du paludisme augmente dans certains districts sanitaires, notamment dans le district d'Oichili-Dimani. Les analyses spatiales confirment la présence d'un cluster de surincidence dans un rayon de 2,64 km, qui regroupe cinq villages (Itsinkoudi, Dzahani ya Oichili, Kouhani, Hambou ya Oichili, Mtsamdou) du district d'Oichili-Dimani. D'autres clusters ont été identifiés dans le district du Centre et de Mbadjini Est. Il existe ainsi une précision dans l'analyse spatiale à l'échelle des villages. Dans ce contexte, on a pu voir qu'il existe une autocorrélation spatiale de l'incidence du paludisme entre les villages voisins ce qui est souvent signicatif d'une diffusion spatiale par un vecteur. Le déplacement des populations entre localités serait ce vecteur. Il serait à l'origine de la circulation du parasite. Ce phénomène a aussi été observé à Madagascar (Ihantamalala *et al*., 2018).

La possibilité de pouvoir étudier le paludisme à ces différentes échelles montre la complémentarité des connaissances acquises et l'importance de pouvoir effectuer de tels changements d'échelle. Ceci implique des données épidémiologiques de qualité avec la l'enregistrement des localités. Pour ce travail en Union des Comores, cela a nécessité la constitution d'une base de données spatiale qui permette le lien entre les données épidémiologiques et les cartographies des unités administratives aux différentes échelles. La cartographie à l'échelle des villages n'a été possible que pour l'année 2016 et sur la seule île de Grande Comore. Il faudrait que pour les années à venir les données épidémiologiques intègrent ainsi les localités afin de permettre un tel travail sur les trois îles et sur l'ensemble des pathologies diagnostiquées.

Le traitement de masse a entrainé non seulement le déclin du paludisme, mais aussi un changement de faciès épidémiologique. Depuis 2014, le cycle d'évolution du paludisme ne suit plus le cycle des précipitations. Pour la première fois, il y a eu plus de cas paludisme en

saison sèche qu'en saison pluvieuse notamment sur les versants est de la Grande Comore. Le paludisme a été identifié comme étant hypoendémique sur ces versants est en saison sèche et mésoendémique en saison pluvieuse (Ouledi, 2003). Le traitement de masse modifie t-il la relation entre le paludisme et l'environnement ?

La cartographie de l'occupation du sol a été utilisée pour identifier des facteurs environnementaux favorables à la transmission du paludisme à l'échelle des districts sanitaires sur l'ensemble des îles et des villages de la Grande Comore. À la Grande Comore, les modèles de régression linéaire simple et multiple montrent que la transmission du paludisme est liée à la proportion de surfaces bâties. Toutefois, cette relation n'existe pas lorsque le district du Centre est exclu. En effet, ce district urbain a des caractéristiques très différentes des autres et il enregistre beaucoup de cas de paludisme. À 1 km autour des villages de la Grande Comore, le paludisme serait corrélé positivement à la végétation herbacée et négativement avec la végétation arborée et l'altitude. Ce changement d'échelle a permis de montrer des spécificités différentes selon les échelles. De plus, en regardant spécifiquement dans les villages de chaque district, d'autres variables sont corrélées à la transmission du paludisme, comme la végétation arbustive dans le district d'Oichili Dimani et les indices de fragmentation dans le district du Centre. Il n'y a donc pas de consensus aux différentes échelles sur les variables environnementales qui ont un impact sur le paludisme. Il est donc complexe de déterminer un modèle statistique spatial explicatif de l'incidence du paludisme en fonction des facteurs environnementaux sur l'ensemble des villes et villages tout comme à l'échelle des districts sanitaires. À Anjouan, contrairement à la Grande Comore, un modèle a pu être établi à l'échelle des districts sanitaires : l'incidence diminue avec la moyenne du NDVI et la proportion de sols nus et augmente avec la proportion de végétation herbacée. Ce modèle caractérise la distribution des vecteurs du paludisme *A. gambiae* et *A. funestus* sur cette île. *A. funestus* est un vecteur du paludisme observé uniquement à Anjouan et à Mohéli dans les marécages herbeux, les prairies et les rizières (Blanchy *et al.*, 1987 ; 1999). Ces milieux sont favorables au développement des gîtes par leur capacité à retenir l'eau ce qui permet la persistance du paludisme dans ces zones géographiques. *A. gambiae* est observée surtout dans les ruisseaux, les estuaires bouchés par un cordon littoral de sable qui caractérise surtout l'environnement côtier de l'île d'Anjouan (Blanchy et al., 1987 ; 1999). Les gîtes larvaires d'*A. gambiae* à Mohéli sont les mêmes qu'à Anjouan. Il n'est tout de même pas possible de faire un modèle à Mohéli au vu du nombre d'unités spatiales limité (3 districts).

L’enquête sur les ménages a permis de mettre en évidence certains facteurs de vulnérabilité des populations favorables à la transmission du paludisme à la Grande Comore. La présence des citernes et le maintien des déchets sur les lieux d’habitation favorisent le développement des vecteurs du paludisme *A. gambiae.* Selon Blanchy *et al.* (1987), toutes sortes de réservoirs d’eau domestiques forment des gîtes larvaires à la Grande Comore. Ces facteurs de vulnérabilité sont très visibles une fois cartographiés à l’échelle des localités. L’enquête a montré que le traitement de masse avait été globalement bien accepté par la population. Elle a toutefois révélé qu’il y a eu plus de refus de la prise du traitement de masse dans les grandes villes, mais également des difficultés sur la couverture d’autres actions de lutte notamment la distribution des MILDs. Cette information est d’autant plus importante que la distribution des MILDs avait eu lieu seulement cinq mois avant l’enquête et que la couverture de la distribution avait atteint les objectifs. Il semble donc primordial, dans cette période de maintenance du paludisme, de sensibiliser à nouveau la population sur l’importance de l’usage des moustiquaires afin de pouvoir espérer éliminer le paludisme. La cartographie des facteurs de vulnérabilité apporte enfin plus de précision spatiale sur l’interprétation de l’épidémiologie du paludisme, ce qui n’avait jamais été fait par les autres enquêtes de santé publique aux Comores.

Conclusion générale

Cette thèse a décrit l'évolution spatiale et temporelle du paludisme en Union des Comores de 2010 à 2017 avec une précision jamais égalée. La cartographie de la prévalence du paludisme chez les patients des structures des soins publiques permet de comprendre l'évolution du paludisme chez les enfants de moins de 5 ans, chez les patients de plus de 5 ans et chez les femmes enceintes. Les enfants de moins 5 ans ont porté le fardeau du paludisme dans l'ensemble des structures de soins publiques. Les structures des zones périphériques (PS) ont enregistré plus de cas chez les enfants de moins de 5 ans. Ceci confirme combien le paludisme a été un problème majeur dans les milieux ruraux durant la période 2010-2013. La cartographie de l'incidence du paludisme à l'échelle des districts sanitaires montre d'une manière globale l'évolution spatiale et temporelle du paludisme dans l'ensemble de la population sans différenciation de groupe d'âge. Cette échelle met en avant le profil épidémiologique du paludisme à travers les différents faciès géographiques des îles, avec de grandes disparités spatiales et temporelles intra et interîles. Dès 2013, plusieurs structures de soins d'Anjouan et de Mohéli n'ont plus notifié de cas de paludisme. Ce n'est qu'en 2014 que l'incidence a considérablement diminué à la Grande Comore. Cette étude confirme que la diminution importante du paludisme est le fait du traitement de masse à base d'Artéquick sur l'ensemble de la population à la Grande Comore et à Anjouan en 2013 et à Mohéli bien avant 2010. Toutefois, le paludisme se maintient désormais à un niveau très bas avec une relâche de la vigilance des populations (réticence à utiliser les moustiquaires surtout) et des conditions favorables au développement des moustiques, à La Grande Comore en particulier (avec de nombreuses citernes). Les chiffres sont aussi renforcés par l'amélioration des conditions du diagnostic et de traitement des cas en milieu hospitalier. Ainsi, depuis 2016, le nombre de cas de paludisme n'a cessé d'augmenter à la Grande Comore. La cartographie de l'incidence du paludisme à l'échelle des villages met en évidence l'existence de clusters spatiaux où la transmission du paludisme est interdépendante.

En caractérisant l'environnement par l'analyse d'images satellite, cette étude a permis d'identifier des facteurs environnementaux qui favorisent la transmission du paludisme à différentes échelles. Ces facteurs sont très variables entre les îles et selon les échelles. À Anjouan, un modèle statistique spatial explicatif de l'incidence du paludisme a été identifié à l'échelle des districts sanitaires avec trois variables : le paludisme diminue avec la moyenne du NDVI et de la proportion de sol nu et augmente avec la végétation herbacée. Ces variables

caractérisent la distribution des vecteurs du paludisme à Anjouan notamment *A. gambiae* et *A. funestus*. À la Grande Comore, aucun modèle de transmission n'a pu être établi à l'échelle des districts sanitaires. À l'échelle des villages, un modèle de transmission du paludisme en fonction de la végétation arbustive et de l'altitude a été identifié spécifiquement dans le district d'Oichili Dimani. Sur les districts du versant est de la Grande Comore, le paludisme diminue en fonction de la végétation arborée et augmente avec la végétation arbustive. Ces modèles décrivent l'écologie des vecteurs du paludisme notamment *An. gambiae*. À Mohéli, la distribution du paludisme serait corrélée à la distribution de la couverture de la végétation arborée. Il est beaucoup plus complexe d'observer un modèle de transmission sur l'ensemble des îles. Bien qu'elles soient soumises aux mêmes conditions climatiques, ces îles n'ont pas le même profil topographique et environnemental.

L'enquête sur les connaissances, les pratiques et les vulnérabilités des populations a montré l'existence de certains facteurs de vulnérabilité favorables au maintien du paludisme à la Grande Comore. Ces facteurs ont pu être identifiés par la cartographie de l'incidence et des variables environnementales à l'échelle des villages, ce qui n'a malheureusement pas été possible sur les autres îles où les données ne sont pas encore disponibles à cette échelle. La présence des citernes, les difficultés de gestion des ordures ménagères et le refus de mettre en œuvre les actions de protection contre le paludisme, notamment la prise du traitement de masse de 2013 et l'utilisation de moustiquaires, ont été favorables au maintien du paludisme dans les grandes villes (Centre). La population des grandes villes semble plus exposée au paludisme, alors que l'offre et l'accès aux soins sont meilleures (moyens financiers, moyens de transport et une bonne éducation) que pour les populations rurales. Les comportements des populations sont donc des facteurs primordiaux dans le maintien du paludisme à la Grande Comore. La connaissance de ces facteurs d'exposition et de vulnérabilité est indispensable pour aider à cibler les actions de lutte sur le terrain et cette thèse en est une première étape pour la Grande Comore.

Cette thèse montre ainsi la nécessité d'avoir des données épidémiologiques de qualité avec l'indication des localités pour permettre d'analyser à une échelle fine, celle des villages voire des lieux de résidence des patients. Elle devrait constituer un apport important dans la lutte contre le paludisme en Union des Comores. Elle permet pour la première fois d'avoir une cartographie précise de l'évolution spatiale et temporelle de l'épidémiologie du paludisme à différentes échelles. Elle vise aussi à montrer comment les approches géographiques

permettent de mieux comprendre les dynamiques d'une maladie et permettent de mesurer le rôle des facteurs environnementaux et humains dans sa transmission. Les méthodes d'analyse spatiale pour l'identification des clusters et les mesures d'autocorrélation spatiale pourront être réutilisées afin de voir l'évolution de la transmission du paludisme entre les villages. De telles approches pourront ainsi aider les responsables de la lutte contre le paludisme à décider leurs actions en ciblant plus précisément les structures, les districts et les villages où la maladie persiste, et en envisagant des solutions pour faire adopter les stratégies de lutte à l'ensemble des communautés.

Bibliographie

ALI, Ali Issihaka, EL BARI, Hassan, BELHADJ, Siham, KAROUACH, Fadoua, JOUTE, Yassine et GRADI, Youssef, 2015. Contribution à l'amélioration de la gestion des déchets ménagers aux Comores/[Contribution to the improvement of household waste management in Comoros]. In : *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 2015. Vol. 12, n° 4, p. 786.

ARIEY, Frédéric, WITKOWSKI, Benoit, AMARATUNGA, Chanaki, BEGHAIN, Johann, LANGLOIS, Anne-Claire, KHIM, Nimol, KIM, Saorin, DURU, Valentine, BOUCHIER, Christiane et MA, Laurence, 2014. A molecular marker of artemisinin-resistant Plasmodium falciparum malaria. In : *Nature*. 2014. Vol. 505, n° 7481, p. 50.

ASHLEY, Elizabeth A., DHORDA, Mehul, FAIRHURST, Rick M., AMARATUNGA, Chanaki, LIM, Parath, SUON, Seila, SRENG, Sokunthea, ANDERSON, Jennifer M., MAO, Sivanna et SAM, Baramey, 2014. Spread of artemisinin resistance in Plasmodium falciparum malaria. In : *New England Journal of Medicine*. 2014. Vol. 371, n° 5, p. 411–423.

BANGUERO, Harold, 1984. Socioeconomic factors associated with malaria in Colombia. In : *Social Science & Medicine*. 1 janvier 1984. Vol. 19, n° 10, p. 1099-1104. DOI 10.1016/0277-9536(84)90313-7.

BELGHITH, Nadia Belhaj Hassine, TAKAMATSU, Shinya, RAZAFIMANANTSOA HARIVELO, Faniry Nantenaina, SHARMA, Natasha et MAHDI, Shireen, 2018. 125069 : *Comoros Poverty Assessment* [en ligne]. S.l. The World Bank. [Consulté le 19 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://documents.banquemondiale.org/curated/fr/269921528113279530/Comoros-Poverty-Assessment.

BENALI, A., NUNES, J. P., FREITAS, F. B., SOUSA, C. A., NOVO, M. T., LOURENÇO, P. M., LIMA, J. C., SEIXAS, J. et ALMEIDA, A. P. G., 2014. Satellite-derived estimation of environmental suitability for malaria vector development in Portugal. In : *Remote Sensing of Environment*. 5 avril 2014. Vol. 145, p. 116-130. DOI 10.1016/j.rse.2014.01.014.

BENZ, Ursula C., HOFMANN, Peter, WILLHAUCK, Gregor, LINGENFELDER, Iris et HEYNEN, Markus, 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. In : *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*. 2004. Vol. 58, n° 3, p. 239–258.

BLANCHY, S. et BENTHEIN, F., 1989. [In vivo chemosensitivity of Plasmodium falciparum in the Islamic Federal Republic of the Comoros]. In : *Bulletin De La Société De Pathologie Exotique Et De Ses Filiales*. 1989. Vol. 82, n° 4, p. 493-502.

BLANCHY, S., BENTHEIN, F. et SABATINELLI, G., 1987. Epidémiologie du paludisme en République Fédérale Islamique des Comores: données actuelles. In : *Cahiers-ORSTOM. Entomologie médicale et parasitologie*. 1987. Vol. 25, p. 45–52.

BLANCHY, S., JULVEZ, J. et MOUCHET, Jean, 1999. Stratification épidémiologique du paludisme dans l'archipel des Comores. In : *Bull Soc Pathol Exot*. 1999. Vol. 92, n° 3, p. 177–84.

BLASCHKE, T., 2010. Object based image analysis for remote sensing. In : *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1 janvier 2010. Vol. 65, n° 1, p. 2-16. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004.

BOWEN, Hannah L., 2013. Impact of a mass media campaign on bed net use in Cameroon. In : *Malaria Journal*. 25 janvier 2013. Vol. 12, p. 36. DOI 10.1186/1475-2875-12-36.

BREMAN, Joel G. et BRANDLING-BENNETT, A. David, 2011. The challenge of malaria eradication in the twenty-first century: Research linked to operations is the key. In : *Vaccine*. 30 décembre 2011. Vol. 29, Supplement 4, p. D97-D103. DOI 10.1016/j.vaccine.2011.12.003.

CECCATO, P., CONNOR, S. J., JEANNE, I. et THOMSON, M. C., 2005. Application of geographical information systems and remote sensing technologies for assessing and monitoring malaria risk. In : *Parassitologia*. 2005. Vol. 47, n° 1, p. 81–96.

CHAUVET, Guy, 1968. *Mission entomologique dans l'archipel des Comores (juillet-août 1967)* [en ligne]. Tananarive. ORSTOM. [Consulté le 30 mai 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:28824. Centre IRD de Bondy

CHITUNHU, Simangaliso et MUSENGE, Eustasius, 2016. Spatial and socio-economic effects on malaria morbidity in children under 5years in Malawi in 2012. In : *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*. 1 février 2016. Vol. 16, n° Supplement C, p. 21-33. DOI 10.1016/j.sste.2015.11.001.

CISSE, Oumar, 2007. Formulation d'un programme de gestion intégrée des déchets solides pour les principales villes. In : . 2007.

COMMISARIAT AU PLAN, Union Des Comores, 2014. *Enquête Démographique et de Santé et à Indicateurs Multiples (EDSC-MICS II) 2012*. Moroni Comores : s.n.

CORNET, Yves, SCHENKE, Christophe, DE BÉTHUNE, Stanislas, BINARD, Marc et MULLER, Fabrice, 2003. Stratégies de fusion d'images P/XS basées sur les principes colorimétriques et l'Égalisation de Statistiques Locales. In : *Bulletin SFPT n*. 2003. Vol. 169, p. 1.

COX-SINGH, Janet, DAVIS, Timothy ME, LEE, Kim-Sung, SHAMSUL, Sunita SG, MATUSOP, Asmad, RATNAM, Shanmuga, RAHMAN, Hasan A., CONWAY, David J. et SINGH, Balbir, 2008. Plasmodium knowlesi malaria in humans is widely distributed and potentially life threatening. In : *Clinical infectious diseases*. 2008. Vol. 46, n° 2, p. 165–171.

DE SAINT OURS, J., 1960. *Etudes géologiques dans l'extrême nord de Madagascar et l'archipel des Comores*. S.l. : Service géologique.

DENG, Changsheng, WANG, Qi, ZHENG, Shaoqin, ZHOU, Chongjun, GAO, Yan, GUO, Jiawen, MLIVA, Ahamada MSA, OITHIK, Fatihou, BACAR, Anfane, ATTOUMANE, Rachad et SONG, Jianping, 2014. Mass Drug Administration of Artemisinin-piperaquine on High Malaria Epidemic Area. In : *Tropical Medicine and Health*. juin 2014. Vol. 42, n° 2 Suppl, p. 33-41. DOI 10.2149/tmh.2014-S05.

DERESSA, Wakgari, ALI, Ahmed et BERHANE, Yemane, 2007. Household and socioeconomic factors associated with childhood febrile illnesses and treatment seeking behaviour in an area of epidemic malaria in rural Ethiopia. In : *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 1 septembre 2007. Vol. 101, n° 9, p. 939-947. DOI 10.1016/j.trstmh.2007.04.018.

DIKE, Nkem, ONWUJEKWE, Obinna, OJUKWU, Juliana, IKEME, Arthur, UZOCHUKWU, Benjamin et SHU, Elvis, 2006. Influence of education and knowledge on perceptions and practices to control malaria in Southeast Nigeria. In : *Social Science & Medicine*. 1 juillet 2006. Vol. 63, n° 1, p. 103-106. DOI 10.1016/j.socscimed.2005.11.061.

DONDORP, Arjen M., NOSTEN, François, YI, Poravuth, DAS, Debashish, PHYO, Aung Phae, TARNING, Joel, LWIN, Khin Maung, ARIEY, Frederic, HANPITHAKPONG, Warunee, LEE, Sue J., RINGWALD, Pascal, SILAMUT, Kamolrat, IMWONG, Mallika, CHOTIVANICH, Kesinee, LIM, Pharath, HERDMAN, Trent, AN, Sen Sam, YEUNG, Shunmay, SINGHASIVANON, Pratap, DAY, Nicholas P.J., LINDEGARDH, Niklas, SOCHEAT, Duong et WHITE, Nicholas J., 2009. Artemisinin

Resistance in Plasmodium falciparum Malaria. In : *New England Journal of Medicine*. 30 juillet 2009. Vol. 361, n° 5, p. 455-467. DOI 10.1056/NEJMoa0808859.

EICHENLAUB, D. et POHLE, H. D., 1980. [A case of chloroquine-resistant (R1) falciparum malaria from the East African Comoros Islands (author's transl)]. In : *Infection*. 1980. Vol. 8, n° 2, p. 90-92. DOI 10.1007/BF01639154.

EL, FZ Samani, WILLETT, W. C. et WARE, J. H., 1987. Nutritional and socio-demographic risk indicators of malaria in children under five: a cross-sectional study in a Sudanese rural community. In : *The Journal of tropical medicine and hygiene*. avril 1987. Vol. 90, n° 2, p. 69-78.

EMERICK, C. M. et DUNCAN, R. A., 1982. Age progressive volcanism in the Comores Archipelago, western Indian Ocean and implications for Somali plate tectonics. In : *Earth and Planetary Science Letters*. 1 octobre 1982. Vol. 60, n° 3, p. 415-428. DOI 10.1016/0012-821X(82)90077-2.

ESSON, J., FLOWER, M. F. J., STRONG, D. F., UPTON, B. G. J. et WADSWORTH, W. J., 1970. Geology of the Comores Archipelago, Western Indian Ocean. In : *Geological Magazine*. novembre 1970. Vol. 107, n° 6, p. 549-557. DOI 10.1017/S0016756800058647.

FASTRING, D. R. et GRIFFITH, J. A., 2009. Malaria incidence in Nairobi, Kenya and dekadal trends in NDVI and climatic variables. In : *Geocarto International*. 1 juin 2009. Vol. 24, n° 3, p. 207-221. DOI 10.1080/10106040802491835.

FERRÃO, João Luís, MENDES, Jorge M., PAINHO, Marco et JOÃO, Sara Z., 2016. Spatio-temporal variation and socio-demographic characters of malaria in Chimoio municipality, Mozambique. In : *Malaria Journal* [en ligne]. 21 juin 2016. Vol. 15. [Consulté le 8 juillet 2016]. DOI 10.1186/s12936-016-1371-x. Disponible à l'adresse : http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4915064/.

FLOWER, M. F. J. et STRONG, D. F., 1969. The significance of sandstone inclusions in lavas of the comores archipelago. In : *Earth and Planetary Science Letters*. 1 octobre 1969. Vol. 7, n° 1, p. 47-50. DOI 10.1016/0012-821X(69)90010-7.

FOODY, Giles M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. In : *Remote Sensing of Environment*. 1 avril 2002. Vol. 80, n° 1, p. 185-201. DOI 10.1016/S0034-4257(01)00295-4.

FOUCART, Thierry, 2006. Colinéarité et régression linéaire. In : *Mathématiques et sciences humaines*. 2006. n° 173, p. 5–26.

FRIEDMAN, Jennifer F., KWENA, Arthur M., MIREL, Lisa B., KARIUKI, Simon K., TERLOUW, Dianne J., PHILLIPS-HOWARD, Penelope A., HAWLEY, William A., NAHLEN, Bernard L., SHI, Ya Ping et KUILE, Feiko O. Ter, 2005. MALARIA AND NUTRITIONAL STATUS AMONG PRE-SCHOOL CHILDREN: RESULTS FROM CROSS-SECTIONAL SURVEYS IN WESTERN KENYA. In : *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 1 octobre 2005. Vol. 73, n° 4, p. 698-704. DOI 10.4269/ajtmh.2005.73.698.

GALTIER, Jérôme et BLANCHY, S., 1982. Le paludisme à Mayotte et son évolution de 1976 à 1981. In : *Cahier ORSTOM*. 1982. Vol. 20, p. 145–151.

HALIDI, Mohamed El-Amine Ali, 1995. Paludisme à Mayotte passé, présent, futur. In : *Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé*. 1995. Vol. 5, n° 6, p. 362–367.

HAY, Simon I, GUERRA, Carlos A, TATEM, Andrew J, NOOR, Abdisalan M et SNOW, Robert W, 2004. The global distribution and population at risk of malaria: past, present, and future. In : *The Lancet infectious diseases*. juin 2004. Vol. 4, n° 6, p. 327-336. DOI 10.1016/S1473-3099(04)01043-6.

HERBRETEAU, Vincent, KASSIÉ, Daouda, ROUX, Emmanuel, MARTI, Renaud, CATRY, Thibault, ATTOUMANE, Artadji, RÉVILLION, Christophe, COMMINS, Jérémy, DESSAY, Nadine et MANGEAS, Morgan, 2018. Observer la Terre pour appréhender spatialement les inégalités de santé: regard historique et prospectif sur l'utilisation de la télédétection dans le domaine de la santé. In : *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia*. 2018. n° 37.

HERBRETEAU, Vincent, SALEM, Gérard, SOURIS, Marc, HUGOT, Jean-Pierre et GONZALEZ, Jean-Paul, 2007. Thirty years of use and improvement of remote sensing, applied to epidemiology: from early promises to lasting frustration. In : *Health & Place*. 2007. Vol. 13, n° 2, p. 400–403.

HUANG, Bo, DENG, Changsheng, YANG, Tao, XUE, Linlu, WANG, Qi, HUANG, Shiguang, SU, Xin-zhuan, LIU, Yajun, ZHENG, Shaoqin, GUAN, Yezhi, XU, Qin, ZHOU, Jiuyao, YUAN, Jie, BACAR, Afane, ABDALLAH, Kamal Said, ATTOUMANE, Rachad, MLIVA, Ahamada M. S. A., ZHONG, Yanchun, LU, Fangli et SONG, Jianping, 2015a. Polymorphisms of the artemisinin resistant marker (K13) in Plasmodium falciparum parasite populations of Grande Comore Island 10 years after artemisinin combination therapy. In : *Parasites & Vectors*. 2015. Vol. 8, p. 634. DOI 10.1186/s13071-015-1253-z.

HUANG, Bo, DENG, Changsheng, YANG, Tao, XUE, Linlu, WANG, Qi, HUANG, Shiguang, SU, Xin-zhuan, LIU, Yajun, ZHENG, Shaoqin, GUAN, Yezhi, XU, Qin, ZHOU, Jiuyao, YUAN, Jie, BACAR, Afane, ABDALLAH, Kamal Said, ATTOUMANE, Rachad, MLIVA, Ahamada M. S. A., ZHONG, Yanchun, LU, Fangli et SONG, Jianping, 2015b. Polymorphisms of the artemisinin resistant marker (K13) in Plasmodium falciparum parasite populations of Grande Comore Island 10 years after artemisinin combination therapy. In : *Parasites & Vectors* [en ligne]. 15 décembre 2015. Vol. 8. DOI 10.1186/s13071-015-1253-z. Disponible à l'adresse : http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4678476/.

IHANTAMALALA, Felana A., RAKOTOARIMANANA, Feno M. J., RAMIADANTSOA, Tanjona, RAKOTONDRAMANGA, Jean Marius, PENNOBER, Gwenaëlle, RAKOTOMANANA, Fanjasoa, CAUCHEMEZ, Simon, METCALF, Charlotte J. E., HERBRETEAU, Vincent et WESOLOWSKI, Amy, 2018. Spatial and temporal dynamics of malaria in Madagascar. In : *Malaria Journal*. 1 février 2018. Vol. 17, p. 58. DOI 10.1186/s12936-018-2206-8.

ISHENGOMA, Deus S., MMBANDO, Bruno P., SEGEJA, Method D., ALIFRANGIS, Michael, LEMNGE, Martha M. et BYGBJERG, Ib C., 2013. Declining burden of malaria over two decades in a rural community of Muheza district, north-eastern Tanzania. In : *Malaria Journal*. 22 septembre 2013. Vol. 12, p. 338. DOI 10.1186/1475-2875-12-338.

JULVEZ, J. et BLANCHY, S., 1988. [Malaria in the islands of the Comoro archipelago. Historical and geophysical aspects. Epidemiologic considerations]. In : *Bulletin De La Societe De Pathologie Exotique Et De Ses Filiales*. 1988. Vol. 81, n° 5, p. 847-853.

JULVEZ, J. et GALTIER, J., 1989. [In vivo study of chloroquine resistance of Plasmodium falciparum malaria in Mayotte]. In : *Medecine Tropicale: Revue Du Corps De Sante Colonial*. mars 1989. Vol. 49, n° 1, p. 63-65.

JULVEZ, J., GALTIER, J., ALI HALIDI, M., HENRY, M. et MOUCHET, J., 1987. [Epidemiology of malaria and the antimalarial campaign in Mayotte (Comoro archipelago, Indian Ocean). Development of the situation between 1976 and 1986. Outlook]. In : *Bulletin De La Societe De Pathologie Exotique Et De Ses Filiales*. 1987. Vol. 80, n° 3 Pt 2, p. 505-519.

JULVEZ, J., MOUCHET, Jean et RAGAVOODOO, C., 1990. Epidémiologie historique du paludisme dans l'archipel des Mascareignes (Océan Indien). In : *Ann Soc Belg Med Trop*. 1990. Vol. 70, p. 249–261.

JULVEZ, Jean, 1995. Historique du paludisme insulaire dans l'océan Indien (partie sud-ouest) Une approche éco-épidémiologique. In : *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé*. 1 novembre 1995. Vol. 5, n° 6, p. 353-358.

KAREMA, Corine, AREGAWI, Maru W., RUKUNDO, Alphonse, KABAYIZA, Alain, MULINDAHABI, Monique, FALL, Ibrahima S., GAUSI, Khoti, WILLIAMS, Ryan O., LYNCH, Michael, CIBULSKIS, Richard, FIDELE, Ngabo, NYEMAZI, Jean-Pierre, NGAMIJE, Daniel, UMULISA, Irenee, NEWMAN, Robert et BINAGWAHO, Agnes, 2012. Trends in malaria cases, hospital admissions and deaths following scale-up of anti-malarial interventions, 2000–2010, Rwanda. In : *Malaria Journal*. 23 juillet 2012. Vol. 11, p. 236. DOI 10.1186/1475-2875-11-236.

KASSIM, Said Abasse, JAMES, Peter Bai, ALOLGA, Rachel Nammahime, ASSANHOU, Assogba Gabin, KASSIM, Said Mohamed, BACAR, Anfane, SILAI, Rahamatou, TIAN, Lei, LI, Hongchao et MA, Aixia, 2016. Major decline in malaria morbidity and mortality in the Union of Comoros between 2010 and 2014: The effect of a combination of prevention and control measures. In : *South African Medical Journal*. 17 juin 2016. Vol. 106, n° 7, p. 709-714.

KELLY-HOPE, Louise A., HEMINGWAY, Janet et MCKENZIE, F. Ellis, 2009. Environmental factors associated with the malaria vectors Anopheles gambiae and Anopheles funestus in Kenya. In : *Malaria Journal*. 26 novembre 2009. Vol. 8, p. 268. DOI 10.1186/1475-2875-8-268.

KESTEMAN, Thomas, RANDRIANARIVELOJOSIA, Milijaona, MATTERN, Chiarella, RABOANARY, Emma, POURETTE, Dolorès, GIROND, Florian, RAHARIMANGA, Vaomalala, RANDRIANASOLO, Laurence, PIOLA, Patrice et ROGIER, Christophe, 2014. Nationwide evaluation of malaria infections, morbidity, mortality, and coverage of malaria control interventions in Madagascar. In : *Malaria Journal*. 28 novembre 2014. Vol. 13, p. 465. DOI 10.1186/1475-2875-13-465.

KORAM, K. A., BENNETT, S., ADIAMAH, J. H. et GREENWOOD, B. M., 1995. Socio-economic risk factors for malaria in a peri-urban area of The Gambia. In : *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 1 mars 1995. Vol. 89, n° 2, p. 146-150. DOI 10.1016/0035-9203(95)90471-9.

KOUADIO, A. S., CISSÉ, G., OBRIST, Brigit, WYSS, Kaspar et ZINGSSTAG, J., 2006. Fardeau économique du paludisme sur les ménages démunis des quartiers défavorisés d'Abidjan, Côte d'Ivoire. In : *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [en ligne]. 1 décembre 2006. n° Hors-série 3. [Consulté le 14 février 2018]. DOI 10.4000/vertigo.1776. Disponible à l'adresse : http://journals.openedition.org/vertigo/1776.

KREFIS, Anne Caroline, SCHWARZ, Norbert Georg, NKRUMAH, Bernard, ACQUAH, Samuel, LOAG, Wibke, OLDELAND, Jens, SARPONG, Nimako, ADU-SARKODIE, Yaw, RANFT, Ulrich et MAY, Jürgen, 2011. Spatial Analysis of Land Cover Determinants of Malaria Incidence in the Ashanti Region, Ghana. In : *PLoS ONE*. 23 mars 2011. Vol. 6, n° 3, p. e17905. DOI 10.1371/journal.pone.0017905.

KROGSTAD, Donald J., 2000. Plasmodium species (malaria). In : *Principles and practice of infectious diseases*. 2000. Vol. 7.

LI, Guo-Qiao, SONG, Jian-Ping, DENG, Chang-Sheng et MOHAMED, Moussa, 2010. One-year report on the fast elimination of malaria by source eradication (FEMSE) project in Moheli Island of Comoros. In : 廣州中醫藥大學學報. 2010. Vol. 27, n° 1, p. 90–98.

LI, Zhichao, 2016. *Modeling the relationships between land cover, land use and malaria spatial distribution using optical and SAR remote sensing. Application to a changing environment: French Guiana - Brazil cross-border area*. S.l. : s.n.

MACHAULT, Vanessa, VIGNOLLES, Cécile, BORCHI, François, VOUNATSOU, Penelope, BRIOLANT, Sébastien, LACAUX, Jean-Pierre, ROGIER, Christophe et OTHERS, 2011. The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. In : *Geospatial Health*. 2011. Vol. 5, n° 2, p. 151–168.

MAILLARD, Olivier, LERNOUT, Tinne, OLIVIER, Sophie, ACHIRAFI, Aboubacar, AUBERT, Lydéric, LEPÈRE, Jean F., THIRIA, Julien, PAGÈS, Frédéric et FILLEUL, Laurent, 2015. Major decrease in malaria transmission on Mayotte Island. In : *Malaria Journal*. 19 août 2015. Vol. 14, n° 1, p. 323. DOI 10.1186/s12936-015-0837-6.

MATTHYS, Barbara, VOUNATSOU, Penelope, RASO, Giovanna, TSCHANNEN, Andres B., BECKET, Emmanuel Gbede, GOSONIU, Laura, CISSE, Gueladio, TANNER, Marcel, N'GORAN, Eliézer K. et UTZINGER, Juerg, 2006. Urban farming and malaria risk factors in a medium-sized town in Cote d'Ivoire. In : *The American journal of tropical medicine and hygiene*. 2006. Vol. 75, n° 6, p. 1223–1231.

MCCULLAGH, Peter, 1984. Generalized linear models. In : *European Journal of Operational Research*. 1984. Vol. 16, n° 3, p. 285–292.

MONETTE G, Fox J, 1992. Generalized collinearity diagnostics. In : *Journal of the American Statistical Association.* 1992. Vol. 87, n° 417, p. 178-83.

MOSS, William J., HAMAPUMBU, Harry, KOBAYASHI, Tamaki, SHIELDS, Timothy, KAMANGA, Aniset, CLENNON, Julie, MHARAKURWA, Sungano, THUMA, Philip E. et GLASS, Gregory, 2011. Use of remote sensing to identify spatial risk factors for malaria in a region of declining transmission: a cross-sectional and longitudinal community survey. In : *Malaria Journal*. 2011. Vol. 10, p. 163. DOI 10.1186/1475-2875-10-163.

MOUCHET, J., 2004. *Biodiversité du paludisme dans le monde*. S.l. : John Libbey Eurotext. ISBN 978-2-7420-0452-2.

MUSHI, Adiel K., SCHELLENBERG, Joanna RM Armstrong, MPONDA, Haji et LENGELER, Christian, 2003. Targeted subsidy for malaria control with treated nets using a discount voucher system in Tanzania. In : *Health Policy and Planning*. 1 juin 2003. Vol. 18, n° 2, p. 163-171. DOI 10.1093/heapol/czg021.

MUTABINGWA, T. K., 2005. Artemisinin-based combination therapies (ACTs): Best hope for malaria treatment but inaccessible to the needy! In : *Acta Tropica*. septembre 2005. Vol. 95, n° 3, p. 305-315. DOI 10.1016/j.actatropica.2005.06.009.

NATIONS UNIES, 2017. Profil 2017: les Comores. In : [en ligne]. novembre 2017. [Consulté le 19 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://repository.uneca.org/handle/10855/24080.

NGOM, Roland et SIEGMUND, Alexander, 2015. The key role of socio-demographic and socio-environmental factors in urban malaria occurrence and control–An illustration using the city of Yaoundé. In : *Social Science & Medicine*. 2015. Vol. 133, p. 269–279.

NOEDL, Harald, SE, Youry, SCHAECHER, Kurt, SMITH, Bryan L., SOCHEAT, Duong et FUKUDA, Mark M., 2008. Evidence of artemisinin-resistant malaria in western Cambodia. In : *New England Journal of Medicine*. 2008. Vol. 359, n° 24, p. 2619–2620.

NOUGIER, J., CANTAGREL, J. M. et KARCHE, J. P., 1986. The Comores archipelago in the western Indian Ocean: volcanology, geochronology and geodynamic setting. In : *Journal of African Earth Sciences (1983)*. 1 janvier 1986. Vol. 5, n° 2, p. 135-145. DOI 10.1016/0899-5362(86)90003-5.

O'BRIEN, Ralph G., 1981. A simple test for variance effects in experimental designs. In : *Psychological Bulletin*. 1981. Vol. 89, n° 3, p. 570.

OMS, Organisation Mondiale, 2003. *Pauvreté et santé: une stratégie pour la région africaine*. Afrique du Sud : Bureau régional de l'Afrique, Brazzaville.

OULEDI, A., TOYB, M., AUBRY, P. et GAÜZERE, B.-A., 2012. Histoire sanitaire et enjeux sanitaires de l'Union des Comores en 2012. In : *Médecine et Santé Tropicales*. 1 octobre 2012. Vol. 22, n° 4, p. 346-354. DOI 10.1684/mst.2013.0135.

OULEDI, Ahmed, 1995. Épidémiologie et contrôle du paludisme en République Fédérale Islamique des Comores. In : *Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé*. 1995. Vol. 5, n° 6, p. 368–371.

OULEDI, Ahmed, 2003. *Paludisme et environnement aux Comores*. Paris : Pierre Marie Curie.

PAGES, F, ORLANDIPRADINES, E et CORBEL, V, 2007. Vecteurs du paludisme: biologie, diversité, contrôle et protection individuelle. In : *Médecine et Maladies Infectieuses*. mars 2007. Vol. 37, n° 3, p. 153-161. DOI 10.1016/j.medmal.2006.10.009.

PAPA MZE, Nasserdine, AHOUIDI, Ambroise D., DIEDHIOU, Cyrille K., SILAI, Rahamatou, DIALLO, Mouhamadou, NDIAYE, Daouda, SEMBENE, Mbacké et MBOUP, Souleymane, 2016. Distribution of Plasmodium species on the island of Grande Comore on the basis of DNA extracted from rapid diagnostic tests. In : *Parasite* [en ligne]. 2016. Vol. 23. DOI 10.1051/parasite/2016034. Disponible à l'adresse : http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5000577/.

PAPA MZE, Nasserdine, NDIAYE, Yaye Die, DIEDHIOU, Cyrille K., RAHAMATOU, Silai, DIEYE, Baba, DANIELS, Rachel F., HAMILTON, Elizabeth J., DIALLO, Mouhamadou, BEI, Amy K., WIRTH, Dyann F., MBOUP, Souleymane, VOLKMAN, Sarah K., AHOUIDI, Ambroise D. et NDIAYE, Daouda, 2015. RDTs as a source of DNA to study Plasmodium falciparum drug resistance in isolates from Senegal and the Comoros Islands. In : *Malaria Journal* [en ligne]. 29 septembre 2015. Vol. 14. DOI 10.1186/s12936-015-0861-6. Disponible à l'adresse : http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4587814/.

PAROLA, Philippe, PRADINES, Bruno, SIMON, Fabrice, CARLOTTI, Marie-Paule, MINODIER, Philippe, RANJEVA, Marie-Pierre, BADIAGA, Sékéné, BERTAUX, Lionel, DELMONT, Jean, MORILLON, Marc, SILAI, Ramatou, BROUQUI, Philippe et PARZY, Daniel, 2007. Antimalarial Drug Susceptibility and Point Mutations Associated with Drug Resistance in 248 Plasmodium falciparum Isolates Imported from Comoros to Marseille, France in 2004–2006. In : *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 9 janvier 2007. Vol. 77, n° 3, p. 431-437.

PASQUIER, Roger, 1985. Martin (Jean) : Comores : quatre îles entre pirates et planteurs. T. 1 Razzias et rivalités internationales (fin XVIIIe s. — 1875), T. 2 : Genèse, vie et mort du protectorat (1875-1912). In : *Outre-Mers. Revue d'histoire*. 1985. Vol. 72, n° 266, p. 122-124.

PHYO, Aung Pyae, NKHOMA, Standwell, STEPNIEWSKA, Kasia, ASHLEY, Elizabeth A., NAIR, Shalini, MCGREADY, Rose, LER MOO, Carit, AL-SAAI, Salma, DONDORP, Arjen M. et LWIN, Khin Maung, 2012. Emergence of artemisinin-resistant malaria on the western border of Thailand: a longitudinal study. In : *The Lancet*. 2012. Vol. 379, n° 9830, p. 1960–1966.

R. CORE, Team, 2017. *R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2016*. S.l. : s.n.

RACINE, Jeffrey S., 2012. RStudio: A Platform-Independent IDE for R and Sweave. In : *Journal of Applied Econometrics*. 2012. Vol. 27, n° 1, p. 167–172.

RAYNAL, J., 1928a. Enquête sanitaire à la Grande Comore en 1925: observation de paludisme à forme épidémique. In : *Bull Soc Path Exot*. 1928. Vol. 21, p. 132–41.

RAYNAL, J., 1928b. Epidemic Malaria in Grand Comoro, 1926. In : *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique* [en ligne]. 1928. Vol. 21, n° 1. [Consulté le 22 août 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19282901156.

REBAUDET, Stanislas, BOGREAU, Hervé, SILAÏ, Rahamatou, LEPERE, Jean François, BERTAUX, Lionel, PRADINES, Bruno, DELMONT, Jean, GAUTRET, Philippe, PAROLA, Philippe et ROGIER, Christophe, 2010. Genetic structure of Plasmodium falciparum and elimination of malaria, Comoros archipelago. In : *Emerging Infectious Diseases*. novembre 2010. Vol. 16, n° 11, p. 1686-1694. DOI 10.3201/eid1611.100694.

RECEVEUR, M. C., ROUSSIN, C., VATAN, R., DE MONTERA, A. M., SISSOKO, D. et MALVY, D., 2004. Bilan du paludisme à Mayotte. Epidémiologie, diagnostic, prévention et traitement. In : *Bull Soc Pathol Exot*. 2004. Vol. 97, n° 4, p. 265–7.

RICAN, Stéphane, 1999. La cartographie des données épidémiologiques. Les principales méthodes de discrétisation et leur importance dans la représentation cartographique. In : *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé*. 22 janvier 1999. Vol. 8, n° 6, p. 461-470.

ROBERT, Vincent, MACINTYRE, Kate, KEATING, Joseph, TRAPE, Jean-Francois, DUCHEMIN, Jean-Bernard, WARREN, McWilson et BEIER, John C., 2003. Malaria transmission in urban sub-Saharan Africa. In : *The American journal of tropical medicine and hygiene*. 2003. Vol. 68, n° 2, p. 169–176.

ROBIN, Marc, 2002. Télédétection, Des satellites au SIG. Une analyse complète du processus création d'un type essentiel d'information géographique. In : *Nathan Université*. 2002. Vol. 318.

SABATINELLI, G., BLANCHY, S., MAJORI, G. et PAPAKAY, M., 1991. Impact de l'utilisation du poisson larvivore Poecilia reticulata sur la transmission du paludisme en RFI des Comores. In : *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*. 1991. Vol. 66, n° 2, p. 84-88. DOI 10.1051/parasite/199166284.

SELLERON, Gilles et PANAPITUKKUL, Nipa, 1996. Couverts nuageux en domaine tropical et teledetection de cultures d'heveas dans le sud de la Thailande. In : *INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING*. 1996. Vol. 31, p. 606–611.

SHAPIRO, Samuel Sanford et WILK, Martin B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). In : *Biometrika*. 1965. Vol. 52, n° 3/4, p. 591–611.

SILAI, R., MOUSSA, M., ABDALLI MARI, M., ASTAFIEVA-DJAZA, M., HAFIDHOU, M., OUMADI, A., RANDRIANARIVELOJOSIA, M., SAID ANKILI, A., SAID AHMED, B., GAYIBOR, A. H., ARIEY, F. et RINGWALD, P., 2007. [Surveillance of falciparum malaria susceptibility to antimalarial drugs and policy change in the Comoros]. In : *Bulletin De La Société De Pathologie Exotique (1990)*. février 2007. Vol. 100, n° 1, p. 6-9.

SIPE, Neil G. et DALE, Pat, 2003. Challenges in using geographic information systems (GIS) to understand and control malaria in Indonesia. In : *Malaria Journal*. 2003. Vol. 2, p. 36. DOI 10.1186/1475-2875-2-36.

SMITH, M. W., MACKLIN, M. G. et THOMAS, C. J., 2013. Hydrological and geomorphological controls of malaria transmission. In : *Earth-Science Reviews*. janvier 2013. Vol. 116, p. 109-127. DOI 10.1016/j.earscirev.2012.11.004.

SOMI, Masha F., BUTLER, James R. G., VAHID, Farshid, NJAU, Joseph D., KACHUR, S. Patrick et ABDULLA, Salim, 2007. Economic burden of malaria in rural Tanzania: variations by socioeconomic status and season. In : *Tropical Medicine & International Health*. 1 octobre 2007. Vol. 12, n° 10, p. 1139-1147. DOI 10.1111/j.1365-3156.2007.01899.x.

SONG, Jianping, SOCHEAT, Duong, TAN, Bo, DARA, Prak, DENG, Changsheng, SOKUNTHEA, Sreng, SEILA, Suon, OU, Fengzhen, JIAN, Huaxiang et LI, Guoqiao, 2010. Rapid and effective malaria control in Cambodia through mass administration of artemisinin-piperaquine. In : *Malaria Journal*. 23 février 2010. Vol. 9, p. 57. DOI 10.1186/1475-2875-9-57.

SPĀTH, Andreas, ROEX, Anton P. Le et DUNCAN, Robert A., 1996. The Geochemistry of Lavas from the Gomores Archipelago, Western Indian Ocean: Petrogenesis and Mantle Source Region Characteristics. In : *Journal of Petrology*. 1 août 1996. Vol. 37, n° 4, p. 961-991. DOI 10.1093/petrology/37.4.961.

STEFANI, Aurélia, DUSFOUR, Isabelle, CORRÊA, Ana Paula SA, CRUZ, Manoel CB, DESSAY, Nadine, GALARDO, Allan KR, GALARDO, Clícia D., GIROD, Romain, GOMES, Margarete SM, GURGEL, Helen, LIMA, Ana Cristina F., MORENO, Eduardo S., MUSSET, Lise, NACHER, Mathieu, SOARES, Alana CS, CARME, Bernard et ROUX, Emmanuel, 2013. Land cover, land use and malaria in the Amazon: a systematic literature review of studies using remotely sensed data. In : *Malaria Journal*. 2013. Vol. 12, p. 192. DOI 10.1186/1475-2875-12-192.

TALL, A., RAHARIMALALA, L. A., LEPERE, J. F., RECEVEUR, M. C., BAUR, F., RABARIJAONA, L. P., RANDRIANARIVELOJOSIA, M., MACARRY, A., ROUSSIN, C. et ROUSSIN, J. M., 2004. Efficacy of artemether-lumefantrine treatment in patients with acute uncomplicated Falciparum malaria in Mayotte, a French collectivity of the Comoros Archipelago. In : *Parasite (Paris, France)*. 2004. Vol. 11, n° 3, p. 325–328.

TALL, Adama, RABARIJAONA, Léon P., ROBERT, Vincent, BEDJA, Said Ahmed, ARIEY, Frédéric et RANDRIANARIVELOJOSIA, Milijaona, 2007. Efficacy of artesunate plus amodiaquine, artesunate plus sulfadoxine-pyrimethamine, and chloroquine plus sulfadoxine-pyrimethamine in patients with uncomplicated Plasmodium falciparum in the Comoros Union. In : *Acta tropica*. 2007. Vol. 102, n° 3, p. 176–181.

TANG, Shangfeng, FENG, Da, WANG, Ruoxi, GHOSE, Bishwajit, HU, Tao, JI, Lu, WU, Tailai, FU, Hang, HUANG, Yueying et FENG, Zhanchun, 2017. Economic burden of malaria inpatients during National Malaria Elimination Programme: estimation of hospitalization cost and its inter-province variation. In : *Malaria Journal*. 19 juillet 2017. Vol. 16, n° 1, p. 291. DOI 10.1186/s12936-017-1934-5.

TANSER, Frank C. et LE SUEUR, David, 2002. The application of geographical information systems to important public health problems in Africa. In : *International Journal of Health Geographics*. 2002. Vol. 1, p. 4. DOI 10.1186/1476-072X-1-4.

TOYB, M., OULEDI, A., GAÜZÈRE, B.-A. et AUBRY, P., 2016. Le paludisme dans l'Archipel des Comores : état des lieux en 2015 après quinze années de lutte. In : *Bulletin de la Société de pathologie exotique*. 21 avril 2016. Vol. 109, n° 2, p. 107-113. DOI 10.1007/s13149-016-0489-y.

UZOCHUKWU, Benjamin SC et ONWUJEKWE, Obinna E., 2004. Socio-economic differences and health seeking behaviour for the diagnosis and treatment of malaria: a case study of four local government areas operating the Bamako initiative programme in south-east Nigeria. In : *International Journal for Equity in Health*. 17 juin 2004. Vol. 3, p. 6. DOI 10.1186/1475-9276-3-6.

VIRK, Ravinder et KING, Doug, 2006. Comparison of techniques for forest change mapping using Landsat data in Karnataka, India. In : *Geocarto International*. 2006. Vol. 21, n° 4, p. 49–57.

WANG, Shr-Jie, LENGELER, Christian, MTASIWA, Deodatus, MSHANA, Thomas, MANANE, Lusinge, MARO, Godson et TANNER, Marcel, 2006. Rapid Urban Malaria Appraisal (RUMA) II: Epidemiology of urban malaria in Dar es Salaam (Tanzania). In : *Malaria Journal*. 4 avril 2006. Vol. 5, p. 28. DOI 10.1186/1475-2875-5-28.

WHO, 2017. *OMS | Rapport sur le paludisme dans le monde 2017* [en ligne]. S.l. [Consulté le 13 février 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.who.int/malaria/publications/world-malaria-report-2017/report/fr/.

WHO, 2018a. *Update on the E-2020 initiative of 21 malaria-eliminating countries* [en ligne]. Switzerland. [Consulté le 20 août 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.who.int/malaria/publications/atoz/e-2020-progress-report/en/.

WHO, 2018b. *World malaria report 2018* [en ligne]. Geneva. [Consulté le 3 décembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.who.int/malaria/publications/world-malaria-report-2018/report/en/.

WHO, World Health et UNICEF, 2003. *The Africa malaria report 2003*. S.l. Geneva: World Health Organization.

WILSON, Mark L., KROGSTAD, Donald J., ARINAITWE, Emmanuel, AREVALO-HERRERA, Myriam, CHERY, Laura, FERREIRA, Marcelo U., NDIAYE, Daouda, MATHANGA, Don P. et EAPEN, Alex, 2015. Urban Malaria: Understanding its Epidemiology, Ecology, and Transmission Across Seven Diverse ICEMR Network Sites. In : *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2 septembre 2015. Vol. 93, n° 3_Suppl, p. 110-123. DOI 10.4269/ajtmh.14-0834.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1951. *EPIDEMIOLOGICAL AND VITAL STATISTICS REPORT = RAPPORT ÉPIDÉMIOLOGIQUE ET DÉMOGRAPHIQUE* [en ligne]. S.l. [Consulté le 31 octobre 2018]. Disponible à l'adresse : http://apps.who.int/iris/handle/10665/239928.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1983. *WORLD HEALTH STATISTICS ANNUAL 1983 = ANNUAIRE DE STATISTIQUES SANITAIRES MONDIALES 1983* [en ligne]. S.l. [Consulté le 31 octobre 2018]. Disponible à l'adresse : http://apps.who.int/iris/handle/10665/227109.

WORRALL, Eve, BASU, Suprotik et HANSON, Kara, 2002. The relationship between socio-economic status and malaria: a review of the literature. In : *Background paper for Ensuring that malaria control interventions reach the poor, London*. 2002. Vol. 56.

WORRALL, Eve, BASU, Suprotik et HANSON, Kara, 2005. Is malaria a disease of poverty? A review of the literature. In : *Tropical Medicine & International Health*. 1 octobre 2005. Vol. 10, n° 10, p. 1047-1059. DOI 10.1111/j.1365-3156.2005.01476.x.

YU, Guo-wei et TANG, Lin-hua, 2004. [Remote sensing and geographic information system techniques in malaria research]. In : *Zhongguo Ji Sheng Chong Xue Yu Ji Sheng Chong Bing Za Zhi = Chinese Journal of Parasitology & Parasitic Diseases*. 30 avril 2004. Vol. 22, n° 2, p. 119-121.

Liste des acronymes

ACT	Combinaisons à Base d'Artémisinine
AFD	Agence Française de Développement
AID	Aspersion Intra-Domiciliaire
ANACM	Agence Nationale de l'Aviation Civile et De La Météorologie
ARTS	Allocation de Recherche Pour Une Thèse Au SUD
ASC	Agent de Santé Communautaire
ASD	Agent de Santé de District
CEPED	Centre Français sur la Population et le Développement
CHN	Centre Hospitalier National
CHR	Centre Hospitalier Régional
CMC	Centre Médico-Chirurgical
CMU	Centre Médico-Urbain
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales (France)
CPN	Consultation Prénatale
CSD	Centre de Santé De District
CTS	Centre De Santé De Caritas
DDT	Dichlorodiphényltrichloroéthane
DGS	Direction Générale de La Santé
DNR	Direction Nationale du Recensement
DNS	Direction Nationale de La Santé
DRS	Direction Régionale de La Santé
DS	District Sanitaire
ESPACE-DEV	L’Espace pour le Développement
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FCR	Fonds de Coopération Régional (France)
Fonds mondial	Fonds Mondial de Lutte contre le Sida, la Tuberculose et le Paludisme

GE	Goutte Epaisse
GPS	Système de Positionnement Global
HP	Hôpital de Pôle
INSEE	Institut National des Statistiques et des Etudes Economiques
INSEED	Institut Nationale de La Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques
IRA	Infections Respiratoires Aiguës
IRD	Institut de Recherche pour le Développement France
LCCS	Système de Classification de L'occupation du Sol
MILDs	Moustiquaires Imprégnées D'insecticides à Longue Durée D'action
MIR	Moyen Infra Rouge
NASA	Administration Nationale de l'aéronautique et de l'espace (Etats-Unis d'Amérique)
NDVI	Indice de Végétation
ODD	Objectifs de Développement Durable
OMS	Organisation Mondiale de La Santé
ONU	Organisation des Nations Unies
PIB	Produit Intérieur Bruit
PID	Pulvérisation Intra-Domiciliaire
PIR	Proche Infra Rouge
PNLP	Programme National de Lutte contre Le Paludisme
PNS	Plan National de Stratégie
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PS	Poste de Santé
RFIC	République Fédérale Islamique des Comores
SEAS-OI	Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellite pour l'Océan Indien
SIG	Système d'informations Géographiques
SIMR	Surveillance Intégrée des Maladies et Ripostes
SRTM	Shuttle Radar Topograpgy Mission (Modèles Numériques De Terrain)
SSM	Services de Santé Militaire

TDR	Test de Diagnostic Rapide
THRS	Très Haute Résolution Spatiale
UMR	Unité de Recherche Mixte
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'enfance
UTM	Transverse Universelle de Mercator
VIH	Virus de l'Immunodéficience Humaine

Liste des figures

Figure 1 : Archipel des Comores versus Union des Comores (Rélief et données altimétriques établies à partir du MNT 90 m Shuttle Radar Topgraphy Mission : http://dwtkns.com/srtm) 11
Figure 2 : Relief de la Grande Comore (Rélief et données altimétriques établies à partir du MNT 90 m Shuttle Radar Topgraphy Mission : http://dwtkns.com/srtm) 14
Figure 3 : Relief de Mohéli (Rélief et données altimétriques établies à partir du MNT 90 m Shuttle Radar Topgraphy Mission : http://dwtkns.com/srtm) 16
Figure 4 : Relief d'Anjouan (Rélief et données altimétriques établies à partir du MNT 90 m Shuttle Radar Topgraphy Mission : http://dwtkns.com/srtm) 17
Figure 5 : Précipitations mensuelles des stations météorologiques de Moroni et Hahaya (source des données : ANACM) 18
Figure 7 : Précipitations mensuelles de 2011-2014 de la station de Bandar-es-Salam de Mohéli (sources des données : ANACM) 20
Figure 8 : Moyenne annuelle de précipiation de 2010-2012 des stations de Mohéli (sources des données : ANACM) 20
Figure 9 : Précipitation mensuelle de la station d'Ouani à Anjouan (source des données : ANACM) 21
Figure 10 : Moyenne annuelle de précipiation de 2010-2012 des stations d'Anjouan. (source des données ANACM) 22
Figure 11 : Température mensuelle des stations de Moroni, Hahaya et Ouani. (sources des données: ANACM) 23
Figure 12 : Evolution de la population des îles de l'Union des Comores : 1958-2017. (Source des données : recensements de la population de 1958, 1966, 1990 et 2003 et estimation pour les années intermédiaires) 25
Figure 13 : Pyramides des âges de la population de chaque île en 1958, 2003 et 2017. (Source des données : recensements de la population de 1958 et 2003) 28
Figure 14 : Répartition de la population de la Grande Comore par village en 2003 et 2017. (Source des données : INSEED) 30
Figure 15 : Répartition de la population de Mohéli par village en 2003 et 2017 (Source des données : INSEED) 32
Figure 16 : Répartition de la population d'Anjouan par village en 2003 et 2017 33
Figure 17 : Densité de la population par commune en 2003 et 2017 (Source des données : INSEED) 34
Figure 18: Carte de localisation des structures de soins de l'Union des Comores 39
Figure 19 : Couverture en CSD par habitant et par district. 42
Figure 20 : Nombre d'habitants par PS et par commune (source des données : INSEED) 44
Figure 21 : Evolution de la prévalence mensuelle des patholohies surveillées dans la SIMR entre 2013-2015 (sources des données : SIMR) 47
Figure 22 : Cycle biologique du paludisme (source : www.cdc.gov/malaria/about/biology/index.html) 50
Figure 23 : Nombre de cas de paludisme confirmés dans les pays de la région d'Afrique de l'OMS en 2017 (source des données : Rapport mondial du paludisme 2018 (OMS)) 52
Figure 24 : Evolution de la littérature scientifique sur le paludisme aux Comores 55
Figure 25 : Princiaux domaines des publications scientifiques sur le paludisme aux Comores 56

Figure 26 : Evolution des cas de paludisme aux Comores de 1955-2016 (source des données : Rapport paludisme de l'OMS de 1966, 1983, 1999, 2010 et 2017) 58
Figure 27 : Incidence du paludisme de 1955-2016 (source des données épidémiologiques : Rapport paludisme de l'OMS de 1966, 1983, 1999, 2010 et 2017, source des données démographiques : recensements de la population de 1958, 1966,1990 et 2003) 60
Figure 28: Fonds et bailleurs de la lutte contre le paludisme aux Comores (source des données : Rapport mondial du paludisme de 2010, 2013 et 2017) 74
Figure 29 : Evolution de la prévalence des cas simples et graves du paludisme de l'ensemble des structures par île de 2010-2017. (réalisation: A.A) 83
Figure 30 : Evolution de la prévalence du paludisme par catégorie de patients dans l'ensemble des structures de soins publics par île de 2010-2017 (réalisation: A.A) 84
Figure 31 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les enfants de moins de 5 ans en 2010 85
Figure 32 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les patients de plus de 5 ans en 2010 85
Figure 33 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les enfants de moins de 5 ans en 2013. 86
Figure 34 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les patients de plus de 5 ans en 2013 87
Figure 35 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les enfants de moins de 5 ans en 2017 87
Figure 36 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les patients de plus de 5 ans en 2017 88
Figure 37 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les femmes enceintes en 2013 89
Figure 38 : Cartographie de la prévalence du paludisme pour les femmes enceintes en 2017 89
Figure 39 : Evolution du diganostic des cas de paludisme par test TDR et GE dans les différentes structures de soins publics entre 2013-2017 90
Figure 40 : Evolution du traitement des cas simples par le Coartem dans les différentes structures de soins publics entre 2013-2017 90
Figure 41 : Evolution du la prise des doses de sulfadoxine pour les femmes enceintes en CPN1 dans les différentes structures de soins publics entre 2013-2017 91
Figure 42 : Evolution de la distribution des moustiquaires aux femmes enceintes en CPN1 dans les structures de soins publics entre 2014-2017 92
Figure 43 : Cartographie de l'incidence du paludisme pour 100 000 habitants à l'échelle des districts saniataires de 2010-2017. 94
Figure 44 : Evolution de l'incidence mensuelle du paludisme par île de 2010-2017. 95
Figure 45 : Evolution de l'incidence du paludisme et de la précipiation mensuelle à la Grande Comore de 2010-2017 96
Figure 46 : Evolution de l'incidence du paludisme et de la précipiation mensuelle à Mohéli de 2010-2017 97
Figure 47 : Evolution de l'incidence du paludisme et de la précipiation mensuelle à Anjouan de 2010-2017. 97
Figure 48 : Cartographie de la couverture des moustiquaires par district durant les campagnes de 2013 et 2016.99
Figure 49 : Cartographie de la couverture du traitement de masse de 2013 par district sanitaire. 100
Figure 50 : Moyenne NDVI par district et par île entre 2010 et 2014 (sources données : MODIS) 109
Figure 51 : Cartographie de l'occupation du sol des trois îles de l'Union des Comores. 114
Figure 52 : Capture d'écran de la localisation des ménages enquêtés à Dzahani Tsidje Grande Comore 160

Figure 53 : Heure de début de la première enquête journalière et de fin de la dernière enquête journalière par île : Mwali=Mohéli, Ndzuani=Anjouan, Ngazidja=Grande Comore 163
Figure 54 : Localisation des ménages enquêtés par île 164
Figure 55 : Cartographie des sources d'eau des ménages enquêtés 167
Figure 56 : Cartographie des ménages s'approvisionnant en eau de robinet public 168
Figure 57 : Cartographie des ménages s'approvisionnant en eau de robinet chez le voisin 168
Figure 58 : Cartographie du statut de couverture des citernes des ménages à la Grande Comore 172
Figure 59 : Cartographie des ménages s'approvisionnant en eau de citerne chez le voisin à la Grande Comore 173
Figure 60 : Cartographie des ménages s'approvisionnant en eau de citerne publique à la Grande Comore..... 174
Figure 61 : Cartographie de la consultation dans les Centres de Santé de District (CSD) 175
Figure 62 : Cartographie de la consultation dans les postes de santé 176
Figure 63 : Cartographie de la consultation d'un médecin par village 177
Figure 64 : Choix du médecin par préférence des médicaments 178
Figure 65 : Choix du médecin par proximité 178
Figure 66 : Cartographie de la consultation d'un médecin par pression familiale 180
Figure 67 : Non consultation d'une personne malade..... 180
Figure 68 : Cartographie de la non consultation d'un malade 181
Figure 69 : Comparaison du taux de couverture en MILDs pendant la distribution 183
Figure 70 : Cartographie de la provenance des moustiquaires 183
Figure 71 : Cartographie de l'utilisation des moustiquaires par les ménages 184
Figure 72 : Cartographie du taux de couverture réel des moustiquaires 185
Figure 73 : Cartographie des ménages ne souhaitant pas dormir sous moustiquaire 186
Figure 74 : Cartographie de l'incidence du paludisme pour les villes et les villages enquêtés à la Grande Comore en 2016..... 187
Figure 75 : Cartographie de la présence de citerne (couverte ou pas) dans les ménages enquêtés à la Grande Comore..... 189
Figure 76 : Cartographie de la présence d'une cour/parcelle et du lieu de dépôt des déchets ménagers dans les ménages enquêtés à la Grande Comore..... 191
Figure 77 : Cartographie de la couverture des MILDs et du refus du traitement de masse des ménages enquêtés à la Grande Comore 192

Liste des tableaux

Tableau 1 : Taux de natalité et d'accroissement naturel de 1958 à 2003. (Source des données : recensements ; 1958, 1966,1990 et 2003) 26
Tableau 2 : Taux de mortalité infantile et de natalité de 1980 à 2003 (Source des données : recensements de la population de 1980,1991 et 2003) 29
Tableau 3 : Couverture sanitaire des îles en 2016 (sources des données : DGS) 38
Tableau 4 : Couverture des personnels de santé par rapport à la population en 2016 (Source des données : DISS) 41
Tableau 5 : Couverture de la consultation par catégories de structures de soins et par île en 2016. (sources des données : PNLP) 46
Tableau 6 : Prévalence du diabète, de l'hypetension, des IST et des traumatismes en 2014 (sources des données : SIMR) 49
Tableau 7 : Comparaison de la moyenne de l'incience du paludisme entre la saison pluvieuse et la saison sèche par île de 2010 à 2017 98
Tableau 8 : Analyse de régression linéaire multiple entre les actions de lutte menées en 2013 et l'indence du paludisme entre 2014 et 2017 101
Tableau 9 : Description des classes d'occupation de sol selon LCCS 111
Tableau 10 : Matrice de confusion de la cartographie de l'occupation du sol de la Grande Comore 114
Tableau 11 : Matrice de confusion de la cartographie de l'occupation du sol de Mohéli 115
Tableau 12 : Matrice de confusion de la cartographie de l'occupation du sol d'Anjouan 115
Tableau 13 : Coefficients de corrélation significatifs entre les variables environnementales et l'incidence du paludisme à l'échelle des districts sanitaires 116
Tableau 14 : Résultats des régressions linéaires multiples entre les variables environnementales et l'incidence du paludisme à l'échelle des districts sanitaires 117
Tableau 15 : Coefficients de corrélation significatifs entre les facteurs socio-économiques et l'incidence du paludisme à l'échelle des localités enquêtées à la Grande Comore 188

Liste des Photographies

Photographie 1 : Photographie 1 : Caldeira du volcan Karthala 12
Photographie 2 : Les îlots situés dans le parc marin de Mohéli 15
Photographie 3 : Vue de la cuvette de Bambao Mtruni 17
Photographie 4 : Bâtiment du Ministère de la Santé, de la Solidarité et du Genre 36
Photographie 5 : Artcile du journal Al-Watwan du 29 Septembre 2017. (source: Al-Watwan (https://alwatwan.net/sante/pharmacie-dynapharm-conflit-de-comp%C3%A9tence-entre-%C3%AEle-et-union.html) 37
Photographie 6 : Centre Hopsitalier National EL-Maarouf sis à Moroni 40
Photographie 7 : Poste de Santé de Djoezie 43
Photographie 8 : Bâtiment du Programme National de Lutte contre le Paludisme, sis la Corniche, Moroni 63
Photographie 9 : Agent de Santé Communautaire en formation au PNLP 64
Photographie 10 : Kits de TDR 66
Photographie 11 : Lecture d'une lame de goutte épaisse par une microscopiste du PNLP 66
Photographie 12 : plaquettes de Coartem (Lumartem) pour les enfants et adultes (source : Ibrahim) 68
Photographie 13 : Boite de sulfadoxine & pyriemethamine pour le traitement des femmes enceintes (source : Ibrahim) 69
Photographie 14 : Historique des actions de lutte contre le paludisme dans l'Archipel des Comores entre 1954-2017 70
Photographie 15 : Formation des agents de terrain pour pulvérisation intradomiciliaire de 2014 (source : Ali Toilibou) 70
Photographie 16 : Distribution des moustiquaires à la population dans le village de Chandra (Anjouan) durant la campagne de 2016 71
Photographie 17 : Prise des médicaments (Artequick) pendant les campagnes de traitement de masse à Mohéli. (source : (Deng et al., 2014)) 72
Photographie 18 : Schéma de la base de données de santé des Comores 78
Photographie 19 : Jeu des noms des villes et villages des Comores 78
Photographie 20 : Visulation de la base de données santé des Comores sur QGIS 79
Photographie 22 : Aperçu de la base de données de l'enquête depuis http://www.kobotoolbox.org/ 161
Photographie 23 : Calendrier de l'enquête à la Grande Comore (GC), à Anjouan (AN) et à Mohéli (MO) 162
Photographie 24 : Enquêtrice et interviewée dans le village de Trindrini à Anjouan 162
Photographie 25 : Eau courante (robinet) permanente dans le ménage 165
Photographie 26 : robinet public dans le village de Nounga à Anjouan .....**Erreur ! Signet non défini.**
Photographie 27 : Citerne avec gouttière en tôle en dehors du ménage à Hassendje à la Grande Comore 169
Photographie 28 : Citerne couverte de tôles à Famaré à la Grande Comore 170
Photographie 29 : Citerne non couverte à Hassendjé à la Grande Comore 170
Photographie 30 : Citerne d'une école publique construite par l'état comorien et des partenaires étrangers à Hassendjé à la Grande Comore 171

Liste des annexes

Identifiants des unitées admistratives

Iles

id_ile	nom_ile	nomi_ag	nomi_shc
1	Grande Comore	Grande Comore	Ngazidja
2	Mohéli	Moheli	Mwali
3	Anjouan	Anjouan	Ndzouani
4	Mayotte	Mayotte	Maore

Prefectures

id_ile	id_pref	nom_pref	nomcl_pref
1	101	Moroni_Bambao	Moroni
1	107	Hambou	Mitsoudje
1	108	Mbadjini_Ouest	Dembeni
1	106	Mbadjini_Est	Foumbouni
1	102	Oichili_Dimani	Koimbani
1	103	Hamahamet_Mboinkou	Mbeni
1	104	Mitsamiouli_Mboude	Mitsamiouli
1	105	Itsandra_Hamanvou	NTsoudjini
2	202	Fomboni	Fomboni
2	203	Nioumachioi	Nioumachioi
2	201	Djando	Wanani
3	303	Mutsamudu	Mutsamudu
3	304	Ouani	Ouani
3	301	Domoni	Domoni
3	302	Mremani	Mremani
3	305	Sima	Sima

Communes

id_pref	id_com	nom_com
101	10101	Moroni
101	10102	Bambao_Yadjou
101	10104	Bambao_Yahari
101	10103	Bambao_Yaboini
107	10702	Tsinimoipangua
107	10701	Djoumoipangua
108	10801	Ngouengoe
108	10802	Nioumagama
106	10601	Itsahidi
106	10603	Domba
106	10602	Pimba
102	10204	Oichili_Yadjou
102	10203	Oichili_Yaboini
102	10201	Dimani
103	10302	Nyuma_Msiru
103	10303	Nyuma_Mro
103	10301	Mboinkou
104	10403	Cembenoi_Lac_Sale
104	10401	Cembenoi_Sada_Djoulamlima
104	10406	Mitsamiouli
104	10405	Nyuma_Komo
104	10402	Nyumamro_Kiblani
104	10404	Nyumamro_Souheili
105	10503	Hamanvou
105	10504	Mbadani
105	10502	Bangaani
105	10501	Djoumoichongo
105	10505	Isahari
202	20202	Fomboni
202	20201	Moili_Mdjini
202	20203	Moimbassa
203	20301	Moimbao
203	20302	MLedjele
201	20101	Djando
301	30101	Bambao_Mtsanga
301	30102	Domoni
301	30103	Jimlime
301	30104	Koni
301	30105	Ngandzale
302	30201	Adda
302	30202	Chaweni
302	30203	Mremani
302	30205	Mramani
302	30204	Ongojou
303	30301	Bandrani_ya_Chironkamba
303	30302	Bandrani_ya_Mtsangani
303	30304	Mutsamudu
303	30303	Mirontsy
304	30401	Bambao_Mtrouni
304	30402	Bazimini
304	30403	Ouani
305	30501	Moya

305	30502	Sima
305	30503	Vouani

Districts sanitaires

id_ile	id_ds	nom_ds
3	301	Domoni
3	302	Mremani
3	303	Mutsamudu
3	304	Ouani
3	305	Pomoni
3	306	Sima
3	307	Tsembehou
1	101	Centre
1	102	Hamahamet_Mboinkou
1	103	Hambou
1	104	Mbadjini_Est
1	105	Mbadjini_Ouest
1	106	Mitsamiouli_Mboude
1	107	Oichili_Dimani
2	201	Djando
2	202	Fomboni
2	203	Nioumachioi

Structures de soins

id_ds	id_ss	nom_ss
101	10101	CHN_MAAROUF
101	10102	CL_Mboudadjou_IQRA
101	10103	CMU_Moroni
101	10104	CSC_Karthala
101	10105	CSD_Moroni
101	10106	PMI_Moroni
101	10107	PNLP_Moroni
101	10108	PS_Hahaya
101	10109	PS_Mbangani
101	10110	PS_Mkazi
101	10111	PS_Ntsoudjini
101	10112	PS_PMI_CMU
101	10113	PS_Tsidje
101	10114	SSM_Moroni
101	10115	CB_ANIS
101	10116	CB_IBRAHIMA_YOUSSOUF
101	10117	CB_ISSULAHI
101	10118	CB_NADJWA
101	10119	CB_OUNONO
101	10120	CL_ALHIKMA
101	10121	CL_AMICALE
101	10122	CL_AMITIE
101	10123	CL_ASCOBEF
101	10124	CL_CHAMSOUDINE
101	10125	CL_COTHINO
101	10126	CL_DJABAL
101	10127	CL_ESPACE_MEDICALE
101	10128	CL_GMC
101	10129	CL_HERI
101	10130	CL_IRANIEN
101	10131	CL_MANGANI
101	10132	CL_OUNONO_Iconi
101	10133	CL_SALAMA
101	10134	CL_SEHA
101	10135	CL_SOS
101	10136	CL_SUHA_JEMA
101	10137	CPCE
101	10138	CTS_Moroni
101	10139	KULAK_Moroni
101	10140	MSLCP
101	10141	PH_Al_CAMARE
101	10142	PH_AVICENNE
101	10143	PH_BARWANI
101	10144	PH_COMORES
101	10145	PH_EL_BOBA
101	10146	PH_GENERIQUE
101	10147	PH_OASIS
101	10148	PH_SOS
101	10149	PH_SOUBIRA
101	10150	PH_TIA
101	10151	PH_WOKOF
101	10152	PS_IBN_KHALDOUN
101	10153	PS_ONU
101	10154	SF_Association
101	10155	SF_ATTUYA_MAOULANA
101	10156	SF_FARAH
101	10157	SF_Fatima_ALI_MOHAMED
101	10158	SF_INDATA
101	10159	SF_MTOUKOUFOU_SAID
101	10160	SF_ROUKIA_MOHAMED
101	10161	SF_Thouraya_said_Abdou
101	10162	SF_ZAINATA_ABOUBACAR
101	10163	SF_Zalhata
101	10164	SFSouand_ABDALLAH
102	10201	CSD_Mbeni

102	10202	PS_Chezani
102	10203	PS_Dimadjou
102	10204	PS_Hantsindzi
102	10205	PS_Itsandzeni
102	10206	PS_Moidja
102	10207	PS_Moidja
102	10208	CTS_Mbeni
103	10301	CSD_Mistoudje
103	10302	PS_Mdjoiezi
103	10303	PS_Singani
104	10401	CSD_Foumbouni
104	10402	PS_Bandamadji
104	10403	PS_Chindini
104	10404	PS_Dzahadjou
104	10405	PS_Febedja
104	10406	PS_Mohoro
104	10407	PS_Mohoro_Djando
104	10408	PS_Ngnambeni
104	10409	PS_Ngnouma_Milima
104	10410	PS_Simboussa
105	10501	CSD_Ouzioini
105	10502	PS_Dembeni
105	10503	PS_Nkourani_ya_Sima
105	10504	PS_Ntsinimoichongo
106	10601	CMC_Mitsamiouli
106	10602	PS_Bangoi_Kouni
106	10603	PS_Djomani
106	10604	PS_Douniani
106	10605	PS_Ivembeni
106	10606	PS_Memboidjou
106	10607	PS_Ouella_1
106	10608	PS_Ouella_2
106	10609	PS_Ouzio
106	10610	CB_SAID_HASSANE
107	10701	CSD_Koimbani
107	10702	PS_Idjikoundzi
107	10703	PS_Itsinkoudi
107	10704	PS_Mtsangadjou
303	30324	CB_AHMED_ABDALLAH
303	30314	CB_ANLIANE_AHMED
303	30307	CB_ANSSOUF_MOH
303	30316	CB_ATTOUMANE_BEN_ALI
303	30309	CB_CHAHASSOU_M
303	30306	CB_DANIEL_OURDI
303	30321	CB_HAIDAR_MOUSSOULOUHOU
303	30327	CB_IBRAHIM_AHAMADI
303	30325	CB_IBRAHIM_AHMED
303	30318	CB_IBRAHIM_SALIM
303	30312	CB_KADER_SAID_ALI
303	30315	CB_KAMAL_ISSOUF
303	30308	CB_M_AMIDY
303	30323	CB_MOHAMED_SOILIHY
303	30322	CB_MOUHOUSSOUNE_ABDOURAZAK
303	30329	CB_Moursoid_MASSONDI
303	30320	CB_NOMANE_FAYSOIL
307	30703	CB_OUSSENE_BACO
303	30330	CB_POLYVALENTE
303	30313	CB_RAKIB_MOHAMED
303	30310	CB_SAINDOU_AMADI
303	30328	CB_SAINDOU_Housseni
303	30326	CB_SIRADJI
303	30319	CB_TAKIDDINE_YOUSSOUF
303	30317	CB_THAOUBANE_DJAMIL
303	30311	CB_ZAIDOU_YOUSSOUF
303	30301	CHR_Mutsamudu
303	30302	CHR_PANTUB_Mutsamudu
301	30101	CMC_Domoni
303	30303	CMU_Mutsamudu
302	30201	CSD_Mremani
304	30401	CSD_Ouani
305	30501	CSD_Pomoni
306	30601	CSD_Sima
307	30701	CSD_Tsembehou
303	30331	CTS_Anjouan
304	30405	LB_NAHOUDA
303	30332	LB_UMONO
303	30304	PMI_Mirontsy
301	30102	PS_Bambao_Mtsanga
303	30305	PS_Bandrani
304	30402	PS_Bazimini
306	30602	PS_Bimbini
307	30702	PS_Chandra
302	30202	PS_Chaweni
302	30203	PS_Hadda
304	30403	PS_Jimlime
302	30204	PS_Kangani
302	30205	PS_Komoni
301	30103	PS_Koni
305	30502	PS_Lingoni
301	30104	PS_Mahale
306	30603	PS_Mjamawe
305	30503	PS_Moya

302	30206	PS_Mramani
302	30207	PS_Outsa
301	30105	PS_Ouzini
302	30208	PS_Sadapoini
301	30106	PS_Salamani
305	30504	PS_Vassy
304	30404	SSM_Ouani
201	20101	CSD_Wanani
201	20102	PS_Hagnamoida
201	20103	PS_Itsamia
201	20104	PS_Sir_Ziroudani
202	20201	CHR_Fomboni
202	20202	CMU_Fomboni
202	20203	PS_Hoani
202	20204	PS_Hoani
202	20205	CB_ABDOULANZIZ
202	20206	CTS_Moheli
202	20207	LB_ESLABOS
202	20208	LB_SOIDAK
202	20209	SSM_Fomboni
203	20301	CSD_Miringoni
203	20302	CSD_Nioumachuoi
203	20303	PS_Ndrondroni

Villages

id_com	id_vil	nom_vil
30201	3020101	Adda_Daweni
30301	3030101	Ankibani
30203	3020301	Badracouni
10101	1010101	Moroni_Bacha
10501	1050101	Bahani
10303	1030301	Bambadjani
30101	3010101	Bambao_Mtsanga
10603	1060302	Bandandaoueni
10502	1050201	Bandamadji_ya_Itsandra
10301	1030101	Bandamadji_ya_Mboinkou
10603	1060301	Bandamadji_Ladomba
10602	1060201	Bandamadji_Lakouboini
20201	2020101	Bandaressalame
30201	3020102	Bandra_la_Djandza
30301	3030102	Bandra_Oupepo
30302	3030201	Bandrani_ya_Mtsangani
30503	3050301	Bandrani_ya_vouani
10503	1050307	Mbangani
10702	1070201	Banguoi
10405	1040501	Bangoi_Mafsankowa
20301	2030101	Barakani_moheli
30403	3040301	Barakani_anjouan
20201	2020102	Barakati_Salama
10403	1040301	Bangoi_Kouni
10302	1030201	Batou
10504	1050401	Batsa_ya_Itsandra
30402	3040201	Bazimini
10403	1040302	Batsa_ya_Mitsamiouli
30502	3050201	Bimbini
10503	1050301	Bibavou
10204	1020401	Boeuni_ya_Oichili
20201	2020103	Boingoma
10104	1010401	Boeuni_ya_Bambao
30502	3050202	Boungoueni
10503	1050302	Bouenindi
10104	1010404	Mboudadjou
10302	1030202	Bouni
30401	3040101	Chandra
10402	1040201	Chamle
10204	1020402	Chamro
30301	3030103	Chirocamba
30503	3050302	Chirove
30302	3030202	Chitrouni
10301	1030102	Chezani
10601	1060101	Chindini
30203	3020302	Daji
10204	1020403	Chomoni
10702	1070202	Chouani
30503	3050303	Darsalam
10104	1010402	Daoeni
10602	1060202	Dar_Salama
10801	1080101	Dembeni
10503	1050303	Diboini
10602	1060203	Didjoni
10802	1080201	Dima
30401	3040102	Dindri
20201	2020104	Djoezi
10303	1030302	Dimadjou_ya_Hamahamet
10502	1050202	Dimadjou_ya_Itsandra
10402	1040202	Djomani_ya_Mboude
10101	1010102	Moroni_Djomani
10404	1040401	Djongoe
30102	3010201	Domoni_anjouan
20203	2020301	Domoni_moheli
10702	1070203	Djoumoichongo
10802	1080202	Domoni_mbadjini
10404	1040402	Domoidjou
10404	1040403	Domoimboini
10402	1040203	Douniani
10701	1070102	Dzahadjou_Hambou
10504	1050402	Dzahadjou_ya_Itsandra

10204	1020404	Dzahadjou_ya_Oichili
10601	1060102	Dzahadjou_ya_Mbadjini
10104	1010403	Dzahani_ya_Bambao
30205	3020501	Dziani
30503	3050304	Dzindri
10203	1020301	Dzahani_ya_Oichili
10501	1050102	Dzahani_II
10802	1080203	Dzoidjou
20202	2020201	Fomboni
10802	1080204	Famare
10406	1040601	Fassi
10201	1020101	Foumboudzivouni
30104	3010401	Gege
20203	2020302	Hoani
30104	3010402	Hachipenda
10601	1060103	Foumbouni
10405	1040502	Founga
20101	2010101	Hagnamoida
10303	1030309	Nyadombweni
30304	3030401	Haibara
30103	3010301	Hajoho
20101	2010102	Hamavouna
20301	2030102	Hamba
10406	1040602	Hadawa
30202	3020201	Hamchaco
30205	3020502	Hantsahi
10303	1030303	Hadjambou
10101	1010103	Moroni_Hadomboe
30103	3010302	Harembo_I
10503	1050304	Hahaya
30503	3050305	Hasimpao
10203	1020302	Hambou_ya_Oichili
10101	1010104	Moroni_Hamramba_Chezani
10101	1010106	Moroni_Hankounou
20203	2020303	Mbatse
10505	1050501	Hantsambou
10301	1030103	Hantsindzi
10203	1020303	Hasendje
10402	1040204	Helendje
10302	1030203	Heroumbili
10701	1070103	Hetsa
30503	3050306	Imere
10103	1010301	Iconi
10201	1020102	Idjikoundzi
20101	2010103	Itsamia
10201	1020103	Idjoindradja
10302	1030204	Ifoudihe_ya_Hamahamet
10802	1080205	Ifoundihe_Chadjou
10802	1080206	Ifoundihe_Chamboini
10602	1060204	Inane
10204	1020405	Irohe
30201	3020103	Jandza
30103	3010303	Jimlime
10101	1010107	Moroni_Iroungoudjani
30201	3020104	Kangani
30502	3050203	Kavani
30204	3020401	Kiyo
10502	1050204	Itsanra_Mdjini
10303	1030304	Itsandzeni
30204	3020402	Komoni
30104	3010403	Koni_Djodjo
30104	3010404	Koni_Ngani
10203	1020304	Itsinkoudi
10801	1080102	Itsoundzou
10404	1040404	Ivembeni
10403	1040303	Ivoini
30501	3050101	Kowet
30102	3010202	Limbi
30501	3050102	Lingoni
10801	1080103	Kandzile
10601	1060104	Koimbani_ya_Mbadjini
30501	3050103	Magnassini_Nindri
30101	3010102	Mahale
10204	1020406	Koimbani_ya_Oichili
10402	1040205	Koua_ya_Mboude
10401	1040101	Koua_ya_Mitsamiouli
10203	1020305	Kouhani
30201	3020105	Mannyassini
30301	3030104	Maoueni
10101	1010108	Moroni_Koule
10406	1040606	Nkourani_ya_Mitsamiouli
10602	1060205	Kove
30503	3050307	Marahare
30503	3050308	Marontroni
10301	1030104	Madjeoueni
30501	3050104	Maweni_ya_Sima
10201	1020104	Madjoma
10101	1010109	Moroni_Magoudjou
10801	1080104	Makorani
10601	1060105	Male
20101	2010104	Mlabanda
10402	1040206	Mandza
10801	1080105	Mandzissani
10201	1020105	Maoueni_ya_Dimani
10502	1050205	Maoueni_ya_Itsandra
10404	1040405	Maoueni_ya_Mboude
10102	1010201	Mavingouni
10103	1010302	Mbachile
10503	1050305	Mbaleni
10701	1070101	Bambani

10503	1050306	Mbambani
10303	1030305	Mbatse_ya_Hamahamet
10302	1030205	Mbeni
10201	1020106	Mboude_ya_Dimani
10801	1080106	Mboude_ya_Mboini
10101	1010110	Moroni_Mboueni
10104	1010405	MDe
30502	3050204	Milembeni
10801	1080107	Mdjankagnoi
10303	1030306	Mdjihari
10701	1070104	Mdjoiezi
20301	2030103	Miringoni
30502	3050205	Mirongani
30305	3030501	Mironsty
10402	1040207	Mdjoiezi_ya_Mboude
10406	1040603	Memboimboini
10405	1040503	Memboidjou
30302	3030203	Mjamaoue
30301	3030105	Mjimandra
10601	1060106	Midjendjeni
20101	2010105	Nkangani
10201	1020107	Midjindze
10504	1050403	Mhandani
30202	3020202	Mnadzichumwe
10505	1050502	Milembeni
10503	1050308	Milevani
10801	1080108	Mindradou
10201	1020108	Mirereni
30304	3030403	MOIMOI_II
10502	1050206	Mirontsi
10406	1040604	Mitsamihouli
30304	3030404	Moujimvia
30501	3050105	Moya
30205	3020503	Mramani
30203	3020303	Mremani
30203	3020304	Mrijou
30101	3010103	Mromagi
30503	3050309	Mromhouli
20203	2020305	Gnambo_Yamaore
10702	1070204	Mitsoudje
10602	1060206	Mlali
30304	3030405	Mutsamudu
10801	1080109	Mlimani
30304	3030406	Mwamwa
20203	2020306	Mtakoudja
20203	2020307	Ngamaroumbo
10302	1030206	Mnoungou
10601	1060107	Mohoro
10303	1030307	Moidja_ya_Hamahamet
10404	1040406	Moidja_ya_Mboude
20302	2030203	Ndremeyani
30105	3010501	Ngandzale
10103	1010303	Moindzaza_Mboini
10104	1010406	Moindzaza_Djoumbe
10101	1010111	Moroni_Centre
30501	3050106	Nindri
20302	2030204	Ndrondroni
10203	1020306	Mtsamdou
10201	1020109	Mtsangadjou
20101	2010106	Siri_Ziroudani
30402	3040202	Nkoki
10102	1010203	Mvouni
10103	1010304	Ndrouani
10301	1030105	Ndroude
10406	1040605	Ndzaouze
10601	1060108	Ndzouani
30202	3020203	Nounga
10602	1060207	Ngnambeni
10602	1060208	Ngnouma_Milima
10303	1030308	Ngole
10601	1060109	Nioumadzaha_Mvoumbari
10104	1010407	Nioumadzaha_ya_Bambao
10301	1030106	Nyumamilima_ya_Mboinkou
10702	1070205	Nkomioni
30205	3020504	Nyamboimro
30403	3040302	Nyatranga
10802	1080207	Nkourani_ya_Sima
30101	3010104	Ongoni
30204	3020403	Ongonjou
20301	2030104	Ouallah_1
20301	2030105	Ouallah_2
30403	3040303	Ouani
10302	1030207	Nkourani_ya_Hamahamet
10602	1060209	Nkourani_Mkanga
10405	1040504	Ntsadjeni
10404	1040407	Ntsaoueni
10201	1020110	Ntsodeni
10404	1040408	Ntsorale
10201	1020111	Ntsorale_ya_Dimani
10505	1050503	Ntsoudjini
30105	3010502	Outsa
30105	3010503	Ouzini
10303	1030310	Ouellah_ya_Hamahamet
10501	1050103	Ouellah_ya_Itsandra
30304	3030407	Page
10401	1040102	Ouellah_ya_Mitsamiouli
30402	3040203	Patsy
10401	1040103	Ouemani
10405	1040505	Ouhozi
30501	3050107	Pomoni

10603	1060303	Oungoni
30302	3030204	Saandani
10102	1010202	Mkazi
10601	1060110	Ouroveni
10503	1050309	Oussivo
10403	1040304	Ouzio
10802	1080208	Ouzioini
30202	3020204	Sadapoini
30105	3010504	Salamani_ya_Domoni
30503	3050310	Salamani_ya_Vouani
10801	1080110	Panda
10603	1060304	Pidjani_ya_Mbadjini
10405	1040506	Pidjani_ya_Mitsamiouli
10201	1020112	Rehemani
10204	1020408	Sadani_ya_Oichili
10204	1020407	Sada_ya_Oichili
20302	2030206	Nioumachioi
10302	1030208	Sada_Shihouwe
10302	1030209	Sada_Mhuwamboi
10301	1030107	Sadani_ya_Mboinkou
30202	3020205	Shaweni
30503	3050311	Shitsangasheli
10302	1030210	Salimani_ya_Hamahamet
30502	3050206	Sima
10702	1070206	Salimani_ya_Hambou
10502	1050207	Salimani_ya_Itsandra
10501	1050104	Samba_Nkouni
10204	1020409	Samba_Madi
10502	1050208	Samba_Mbodoni
10104	1010408	Selea
20101	2010107	Wanani
10302	1030211	Seleani
10103	1010305	Serehini
10201	1020113	Sidjou
30204	3020404	Trindrini
30401	3040103	Tsembehou
10501	1050105	Sima_ya_Itsandra
10204	1020410	Sima_ya_Oichili
10601	1060111	Simamboini
10602	1060210	Simboussa_ya_Mbadjini
30503	3050312	Vassi
10404	1040409	Simboussa_ya_Mboude
30503	3050313	Vouani
10701	1070105	Singani
10405	1040507	Songomani
10405	1040508	Toiyifa
20101	2010108	Sambia
10301	1030108	Trelezini
10502	1050203	Dzahani_Tsidje
10801	1080111	Tsinimoichongo
10603	1060305	Tsinimoipanga
10504	1050404	Vanadjou
10504	1050405	Vanamboini
10504	1050406	Vouadjou
10504	1050407	Vounambadani
10104	1010409	Vouvouni_ya_Bambao
10402	1040208	Vouvouni_ya_Mboude
10101	1010112	Moroni_Zilimadjou
10505	1050504	Zivandani

Evolution du diagnostic des cas par TDR et GE et traitment des cas simples par le Coartem dans l'ensemble des structures de soins publics des îles entre 2013-2017

îles	Année	Nombre de cas			Cas confirmés par TDR+GE		Cas traités par le coartem	
		Simple	Grave	Total	Nombre	%	Nombre	%
Anjouan	2013	81	46	127	64	50,39	28	34,57
Grande Comore	2013	23215	15398	38613	32437	84,01	20577	88,64
Mohéli	2013	75	57	132	81	61,36	49	65,33
Anjouan	2014	2	3	5	5	100,00	2	100,00
Grande Comore	2014	644	825	1469	1269	86,39	642	99,69
Mohéli	2014	2	8	10	6	60,00	2	100,00
Anjouan	2015	4	3	7	7	100,00	4	100,00
Grande Comore	2015	247	613	860	791	91,98	243	98,38
Mohéli	2015	0	3	3	3	100,00	0	0
Anjouan	2016	4	6	10	9	90,00	4	100,00
Grande Comore	2016	423	693	1116	1094	98,03	401	94,80
Mohéli	2016	5	1	6	6	100,00	5	100,00
Anjouan	2017	10	2	12	12	100,00	10	100,00
Grande Comore	2017	861	604	1465	1453	99,18	852	98,95
Mohéli	2017	9	4	13	13	100,00	9	100,00

Evolution de la prise du sulfadoxine et de la distribution de moustiquaires aux femmes enceintes dans l'ensemble des structures de soins publics des îles de 2013-2017

Iles	année	Consultation des femmes en enceinte		Prise de la 1èr dose de SP des femmes en CPN1		Prise de la 2ème dose de SP des femmes en CPN1		Distribution de MILDS des femmes en CPN1	
		Consultation	CPN1	Nombre	(%)	Nombre	(%)	Nombre	(%)
Anjouan	2013	12597	10138	5919	58,38	3386	33,40	2020	19,93
Grande Comore	2013	23489	5687	2591	45,56	1321	23,23	147	2,58
Mohéli	2013	4359	1766	-	-	-	-	-	-
Anjouan	2014	8530	10390	6908	66,49	5160	49,66	8403	80,88
Grande Comore	2014	23373	5331	3936	73,83	2826	53,01	3449	64,70
Mohéli	2014	5197	1917	470	24,52	39	2,03	1060	55,29
Anjouan	2015	9487	9910	5687	57,39	4874	49,18	9345	94,30
Grande Comore	2015	25148	5581	3834	68,70	3089	55,35	4905	87,89
Mohéli	2015	5800	2000	1049	52,45	578	28,90	1808	90,40
Anjouan	2016	14259	10345	7141	69,03	4864	47,02	8351	80,72
Grande Comore	2016	26108	5224	3355	64,22	1869	35,78	4751	90,95
Mohéli	2016	5759	1848	1009	54,60	323	17,48	1678	90,80
Anjouan	2017	8555	6547	1488	22,73	1058	16,16	6547	100,00
Grande Comore	2017	17705	3503	1270	36,25	822	23,47	2747	78,42
Mohéli	2017	3746	1178	763	64,77	418	35,48	1103	93,63

Enquête Eau et santé aux Comores : perceptions, pratiques et vulnérabilité des populations

Questionnaire

1) Informations générales

Identifiant du questionnaire (Auto-incrémenté)
Date
Nom de l'enquêteur
Localisation géographique

- ✓ Ile / District / Village (Menus déroulants)
- ✓ Prise des cordonnées GPS (Via la tablette)

Personne enquêtée :

- ✓ Statut :
  - Homme/Femme0-com
  - Parents, Grands-parents, enfants, autre
  - Tranche d'âge

2) Caractéristiques des ménages

A. Structure du ménage

a) Nombre de personnes dans le ménage

Classe d'âge	Femmes	Hommes
0-2		
2-10		
11-20		
21-40		
41-60		
> 60		

b) Nombre de ménages différents dans le logement
c) Depuis quand le ménage habite dans le logement

B. Caractérisation de l'habitat

- ✓ Type d'habitat ?
  - Maison individuelle en dur
  - Maison sous tôle (autre nom ?)
  - Appartement
- ✓ Matériaux :
  - Brique et béton

- Tôle
- Terre dur et paille
- Feuilles de palmier

✓ Nombre d'étages
✓ Nombre de chambres
✓ Electricité
✓ Eau :
- Citerne
- Eau courante

✓ Présence d'un jardin
✓ Sol autour de la maison : terre / herbe / dur
✓ Animaux dans le jardin ?

C. Revenus au foyer

a) Emploi

✓ Quelles sont vos sources de revenu dans le ménage ?

Sources de revenu	Réponse
Salaire	
Agriculture	
Pêche	
Commerce	
Aucun	
Aide étrangère	

✓ Combien de personnes sont salariées dans le ménage ?

Sexe	Nombre
Homme	
Femme	
Aucun	

✓ Combien de personnes sont au chômage ?

Sexe	Nombre
Homme	
Femme	
Aucun	

b) Aide étrangère

✓ Bénéficiez-vous d'une aide étrangère ?
- Oui
- Non

✓ Quel est la nature de cette aide ?

Nature	Réponse
Argent	
Bien en nature	
Aucun	

c) Formation

✓ Diplômés

- Combien de personnes sont diplômées dans le ménage ?

Diplôme	Hommes	Femmes
CEPE		
Brevet		
Bac		
Licence		
Master		
Doctorat		
Autres		

✓ Scolarisation

- Combien de personnes savent lire et écrire ?

Sexe	nombre
Homme	
Femme	
Aucun	

3) Eau

A. Catégorie d'eau

✓ Quels types d'eau utilisez-vous dans le ménage ? localisation de la source si possible

Types d'eau	boisson	bain	nettoyage	cuisson	autre
Eau de pluie					
Eau de surface					
Eau de la MAMWE/EDEA					
Eau de puits souterraine					
Eau minérale					
Autres					
Manquant					

B. Système d'approvisionnement

✓ Comment vous vous approvisionner en eau ?

Systèmes d'approvisionnement	boisson	bain	nettoyage	cuisson

Robinet dans le ménage				
Robinet publique				
Puits à pompe				
Puits creusé protégé				
Eau en bouteille				
Puits creusé non protégé				
Camion-citerne				
Source non protégée				
Source protégée				
Eau minérale				
Autres				
Manquant				

C. Quantité

✓ Pouvez-vous nous donner une estimation de la quantité d'eau dont vous utiliser par jour ?

Types de volume	Nombre	Volume
Bidon de 25 litres		
Seau d'eau de 5 litres		
Seau d'eau de 15 litres		
Par m3		

✓ Quelle quantité auriez-vous besoin par jour ?

Types de volume	Nombre	Volume
Bidon de 25 litres		
Seau d'eau de 5 litres		
Seau d'eau de 15 litres		
Par m3		

D. Qualité

✓ Quel est votre niveau de satisfaction de la propriété de l'eau ?

- Insatisfait
- Peu satisfait
- Moyennement satisfait
- Bien satisfait
- Beaucoup satisfait

E. Conservation

✓ Avez-vous besoin de conserver l'eau dans le ménage ?

- Oui

- Non

✓ Quelle méthode faites-vous pour conserver l'eau dans le ménage ?

Système de conservation	Réponse
Bidon	
Citerne	
Cuvette en plastique	
Seau en plastique	
Marmite en aluminium	
Marmite en terre cuite	
Pot en terre cuite	
Autres	
Manquant	

✓ Quel est votre niveau de satisfaction pour la conservation de l'eau ?

- Insatisfait
- Peu satisfait
- Moyennement satisfait
- Bien satisfait
- Beaucoup satisfait

F. Traitement

✓ Avez-vous besoin de faire un traitement de l'eau dans le ménage avant la consommation et l'utilisation ?

Traitement	Réponse
Utilisation	
Consommation	

✓ Quelle méthode de traitement faites-vous ?

Méthode de traitement	Oui	non
Ebullition		
Ajout eau de javel/chlore		
Filtrer par un linge		
Autre filtre		
Autre		
Aucun traitement		

✓ Quel est votre niveau de satisfaction de ce traitement ?

- Insatisfait
- Peu satisfait
- Moyennement satisfait
- Bien satisfait
- Beaucoup satisfait

G. Coût

- ✓ Payez-vous la consommation de l'eau dans le ménage ?
  - Oui
  - Non
- ✓ Si oui, a qui payez-vous ?
  - Société d'état
  - Société privé
  - Particulier
- ✓ Comment achetez-vous l'eau ?
  - Au m3
  - Bidon de 25 L
  - Au litre
  - Par service
- ✓ Combien coût l'eau ?

Type de société	Prix du m3	Prix bidon 25 L	Prix par 1L	Prix du service
Société d'état				
Société privé				
Particulier				

H. Difficultés

- ✓ Manquez-vous de l'eau ?
  - Pas du tout
  - De temps à temps
  - Quotidiennement
  - Périodiquement
- ✓ Avez-vous des coupures d'eau de robinet dans la journée ?

Heure de coupure	Réponse
Pas du tout	
0-1h	
1-3h	
3-5	
>5	

- ✓ Etes-vous affecter par la sécheresse ?
  - Oui
  - Non
- ✓ Combien temps parcourez-vous pour aller chercher de l'eau ?

Heure de trajet	Réponse
<30mn	
30mn-1h	
>1h	

4) Conditions d'hygiène et assainissement

A. Hygiène

✓ Quel type de toilettes avez-vous ?

Type de toilettes	Réponse
Chasse d'eau connectée à un système d'égout	
Chasse d'eau connectée à une fosse septique	
Chasse d'eau connectée à une fosse d'aisance	
Chasse d'eau non connectée à une fosse septique ni égout	
Fosse d'aisance avec dalle	
Fosse d'aisance avec trou ouvert	
Pas de toilettes / nature	

✓ Quels produits nettoyants utilisez-vous dans les toilettes ?

Produits de toilettes	Réponse
Papier toilette	
Eau	
Autres	

✓ Y'a-t-il de l'eau dans les toilettes ?

- Oui
- Non

✓ Quel est le système de conservation de l'eau dans les toilettes ?

Eau toilette	Réponse
Petite citerne	
Robinet	
Seau en plastique	
Pot en terre cuit	
Bidon de en fer	
Marmite en aluminium	
Cuvette en plastique	
Autres	
Manquant	

✓ Avez-vous un endroit pour lavez les mains ?

- Oui
- Non

✓ Quels produits utilisez-vous pour laver les mains ?

Produit lavage des mains	Réponse
Eau avec savon	
Eau seulement	
Eau avec autres produits que le savon	
Eau avec produit traditionnelle	
Autres	
Pas de savon, ni eau	

a) Poubelle

✓ Disposez-vous d'une poubelle ?

- Oui
- Non

✓ Quel type de poubelle ?

Types de poubelle	Réponse
Poubelle extérieure en plastique avec roulette	
Seau à ordure	
Sac poubelle en plastique	
Poubelle fixe	
Sac de ciment	
Poubelle traditionnelle	
Autres	
Manquant	

B. Assainissement

a) Evacuation des eaux

✓ Y'a-t il un système d'évacuation des eaux usées ?

- Oui
- Non

✓ Quels sont les systèmes d'évacuation des eaux usées ?

Système d'évacuation	Réponses
Caniveau	
Tuyauterie	
Fosse	
Sol	
Egout	
Autres	
Manquant	

✓ Y’at-il des lieux où les eaux stagnent ?

- Oui
- Non

b) Décharge

✓ Où déposez-vous les ordures ?

Lieu de dépôt des ordures	Réponses
Sol	
Bac à décharge	
Fosse	
Camion de décharge	
Autres	
Manquant	

✓ Combien de temps parcourez-vous pour déposer vos déchets ?

Heure de trajet	Réponse
<10min	
10min-30mn	
30mn-1h	
>1h	

5) Accès aux soins des ménages

a) Traditionnelle

✓ Consultez-vous un tradipraticien ?

- Oui
- Non

✓ Quelles sont vos raisons de consultation ?

Raisons	Oui	Non
Meilleur que le médecin		
Manque de confiance au médecin		
Moins coûteux		
Imposer		
Plus proche		
Je n’aime pas les médicaments		
Préférence des décoctions		
Autres		

b) Modernes

✓ Consultez-vous un médecin moderne ?

- Oui
- Non

✓ Quelles sont vos raisons de consultation ?

Raisons	Oui	Non
Meilleur que le tradipraticien		
Manque de confiance au tradipraticien		
Meilleurs soins		
Imposer		
Préférence des médicaments		
Plus proche		
Autres		

c) Structures de consultation

✓ Identification

- Dans quel type de structure consultez-vous habituellement ?

Structures de santé	Oui	Non
Poste de santé		
Centre de santé de district		
Cabinet Privé		
Clinque Privé		
Centre Hospitalier National		
Service Santé Militaire		
Caritas chrétien		
Centre Médicale et Chirurgical		
Centre médicale urbain		
Centre de santé communautaire		
Centre de protection Maternelle et Préventive		
Sage-femme privé		

✓ Avez-vous une préférence de structure de consultation ?

- Oui
- Non

✓ si oui, quelles sont vos raisons ?

Raison	Oui	Non
Un médecin de famille		
Plus proche		
Avoir un meilleur soin		
Moins cher		
Pas de choix		
Autres		
Aucun		

✓ Etes-vous satisfait de l'offre de soin ?

- Insatisfait
- Peu satisfait
- Moyennement satisfait
- Bien satisfait

d) Accès aux consultations

✓ Moyen de déplacement

- Quel moyen de déplacement utilisez-vous pour vous rendre à la structure de santé ?

Moyen de déplacement	Oui	Non
A pied		
Voiture personnelle		
Transport en commun		
Taxi		
Autres		

- Combien de temps mettez-vous ?

Moyen de déplacement	<10 min	10 – 30 min	30 – 60 min	>60 min
A pied				
Voiture personnelle				
Transport en commun				
Taxi				
Autres				

e) Difficultés

✓ Arrive-t-il qu'une personne malade ne soit pas amenée à l'hôpital ?

- Rarement
- Habituellement
- Très souvent
- Jamais

✓ Arrive-t-il que vous ne puissiez pas acheter tous les médicaments prescrits ?

- Rarement
- Habituellement
- Très souvent
- Jamais

✓ Etes-vous amener à évacuer une personne malade à l'étranger ?

- Rarement

- Habituellement
- Très souvent
- Jamais

f) Assurance santé

✓ Avez une assurance de santé ?

- Oui
- Non

✓ Combien payer vous l'assurance annuellement ?

- Montant en franc comorien

✓ Avez-vous des économies de santé ?

- Oui
- Non

6) Connaissances, pratiques et vulnérabilités

A. Connaissances des maladies liées à l'eau

✓ Connaissez-vous les maladies suivantes ? Quelqu'un de votre ménage a-t-il déjà été atteint ? Les Craignez-vous ?

Maladie	Oui	Non	Déjà atteint par ces maladies	Craignez-vous ces maladies
Paludisme				
Dengue				
Fièvre typhoïde				
Autre ?				

✓ Etes-vous informé quand il y a une campagne de sensibilisation à l'utilisation de moustiquaires imprégnées ?

- Oui
- Non

✓ Vous protégez-vous plus lorsqu'il y a une campagne de sensibilisation au paludisme ?

- Oui
- Non

✓ Selon vous, quelle est la mesure de lutte contre les moustiques la plus efficace ?

- Campagne de MILDS
- Traitement de masse
- Campagne d'insecticide
- Autres

B. Perception du traitement de masse

✓ Avez-vous pris le traitement de masse de 2013?

- Tous
- Certaines
- Aucune

✓ Avez-vous eu des effets secondaires ?

Effets secondaires	Oui	Non
Nausée		
Hypoglycémie		
Fatigues		
Diarrhée		
Vertiges		
Douleurs abdominales		
Vomissements		
Autres		
Aucun		

✓ Quelles sont les raisons de refus ?

Catégorie de personne	Oui	Non
Maladie		
Grosses		
Voyage		
Peur des effets secondaires		
Absent		
Non intéressant		
Autres		
Aucun		

C. Perception de l'utilisation des MILDS

a) Accès

✓ Avez-vous des moustiquaires ?

- Aucune
- 1-3
- 3-5
- Plus de 5

✓ Comment vous les avez eues ?

- Acheter
- Donner par le PNLP

b) Utilisation

✓ Combien de lits sont équipés de moustiquaire ?

- Aucun
- 1-3
- 3-5
- Plus de 5

✓ Combien de personnes dorment sous moustiquaire ?

- Aucun
- 1-3
- 3-5
- Plus de 5

c) Refus

✓ Combien de personnes n'aiment pas dormir sous moustiquaire ?

- Aucun
- 1-3
- 3-5
- Plus de 5

✓ quelles raisons qu'ils n'aiment pas dormir sous moustiquaire ?

Raisons	Oui	Non
Chaleur		
Gêner		
Odeur		
Etouffer		
Autres		
Aucun		

D. Vulnérabilité des populations

✓ Pratiques traditionnelles

✓ combien de personnes marchent pieds-nus à la maison ?

Catégorie de personne	Oui	Non
Enfant de moins de 5 ans		
Plus de 5 ans		
Hommes		
Femmes		
Aucun		

✓ arrive-t-il que les enfants et des adultes se baignent sous la pluie, flaque d'eau ?

- oui
- non

- ✓ Est-ce qu'il vous arrive de laver vos assiettes dans la rivière ou à la mer ?

Catégorie de	Souvent	Rarement	Jamais
Rivière			
Mer			
Autres points d'eau			

- ✓ y-a-t-il des personnes qui se baignent dans une rivière ou à la mer ?
  - aucune
  - rarement
  - habituellement

- ✓ Y'a-t-il quelqu'un qui mange de la chauve-souris à la maison ?
  - oui
  - non

Résumé

Le paludisme a sévi dans l'archipel des Comores depuis 1925 où une grande épidémie s'est déclenchée à la Grande Comore. Ces îles ont offert des conditions favorables au développement des vecteurs responsables de la transmission du paludisme (*Anopheles gambiae* et *Anopheles funestus*) avec un climat tropical humide, une forte densité hydrographique, un environnement forestier et marécageux et la construction de citernes de collecte d'eau de pluie dans les habitations. Cette maladie est devenue endémique stable depuis les années 70 et un problème de santé publique majeur jusqu'aux années 2000. Dès la fin des années 90, le gouvernement comorien a décidé de mettre en place une stratégie de lutte contre le paludisme par la lutte anti-vectorielle et la protection de la population contre les piqûres des moustiques. Ces vingt dernières années, ces actions de lutte contre le paludisme se sont intensifiées et, pour la première fois, un traitement de masse à base d'Artequick a été réalisé à Mohéli (2007-2009), à Anjouan (2012-2013) et à la Grande Comore (2013). Depuis, un recul spectaculaire du paludisme a été observé sur l'ensemble des îles, car Mohéli et Anjouan sont entrées en phase de pré-élimination et la Grande Comore en phase de contrôle. Cette thèse décrit, dans la première partie, l'évolution spatiale et temporelle du paludisme avant et après le traitement de masse pour appréhender l'impact des différentes actions de lutte. Une cartographie de la prévalence en milieu hospitalier et de l'incidence du paludisme à l'échelle des districts sanitaires et des villages montre son recul à Anjouan et Mohéli et son maintien à la Grande Comore. Les tests d'autocorrélation spatiale ont révélé une similitude de la transmission du paludisme entre des localités proches, qui forment des clusters à la Grande Comore. Nous avons démontré, dans la deuxième partie, qu'il existe bel et bien une influence des facteurs environnementaux sur la transmission du paludisme bien que les actions de lutte ont plus de poids. À l'échelle des districts sanitaires, des modèles de régressions linéaires simple et multiple ont été établis entre l'incidence du paludisme et les caractéristiques de l'occupation du sol des îles et les indicateurs paysagers à l'échelle des villages de la Grande Comore. Une enquête sur les connaissances, les pratiques et les vulnérabilités des populations a été menée sur 1288 ménages de l'Union des Comores pour appréhender les facteurs de vulnérabilité favorables à la transmission du paludisme. Au-delà de la présence des citernes dans les ménages, le lieu de dépôt de déchets ménagers favoriserait son maintien à la Grande Comore. L'enquête a révélé que plusieurs ménages de la grande île n'avaient pas pris le traitement de masse de 2013. Cette thèse permet de mieux comprendre les aspects humains et

environnementaux du maintien du paludisme et vise ainsi à mieux cibler les futures actions de lutte.

Mots clés : paludisme, analyse spatiale, occupation du sol, vulnérabilité, Comores.

Abstract :

Malaria has been present in the Comoros archipelago since 1925, when a major epidemic was first recorded in Grande Comore. The islands have been favourable to the development of vectors causing malaria transmission (*Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus*) due to the high tropical rainfall, high hydrographic density, the suitable environment with forests and wetlands, as well as the construction of water reservoirs in households. This disease has been endemic since the 1970s and a major public health problem until the 2000s. From the end of the 1990s, the Comorian government has decided to implement a strategy to control malaria by anti-malaria vector control and population protection against mosquito bites. In the last twenty years, malaria control efforts have been intensified and for a first time, mass treatment with Artequick has been carried out in Mohéli (2007-2009), Anjouan (2012-2013) and Grande Comore (2013). There has since been a dramatic decline in malaria on all the islands, as Mohéli and Anjouan have entered a pre-elimination phase and Grande Comore is in the control phase. In the first part, this thesis describes the spatial and temporal dynamics of malaria before and after mass treatment in order to understand the impact of different control actions. A mapping of hospital prevalence and incidence of malaria at the district and village levels shows its decline in Anjouan and Mohéli and its persistence in Grande Comore. Spatial autocorrelation tests have revealed a similarity in malaria transmission between neighbouring localities that are forming clusters in Grande Comore. In the second part, it was demonstrated that environmental factors have an influence on malaria transmission, despite the greater importance of control actions. At the district level, simple and multiple linear regression models have been established between the incidence of malaria and land cover / land use patterns of islands and landscape indicators at the village level in Grande Comore. A survey on people's knowledge, practices and vulnerabilities was conducted among 1,288 households in the Union of the Comoros to assess factors of vulnerability that contribute to malaria transmission. Beyond having water reservoirs in households, the waste disposal location would also have an impact on malaria in Grande Comore. The survey revealed that several households on the large island did not take the 2013 mass treatment. This thesis provides a better understanding of the human and environmental aspects of malaria maintenance and thus aims to better target future control actions.

Keywords: malaria, spatial analysis, land cover / land use, vulnerability, Comoros.

POLE RECHERCHE
Ecoles **D**octorales

LETTRE D'ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

Je, soussigné(e) **ARTADJI ATTOUMANE**……, en ma qualité de doctorant(e) de l'Université de La Réunion, déclare être conscient(e) que le plagiat est un acte délictueux passible de sanctions disciplinaires. Aussi, dans le respect de la propriété intellectuelle et du droit d'auteur, je m'engage à systématiquement citer mes sources, quelle qu'en soit la forme (textes, images, audiovisuel, internet), dans le cadre de la rédaction de ma thèse et de toute autre production scientifique, sachant que l'établissement est susceptible de soumettre le texte de ma thèse à un logiciel anti-plagiat.

Fait à **Moroni**, le **18 décembre 2018**.

Signature :

Extrait du Règlement intérieur de l'Université de La Réunion
(validé par le Conseil d'Administration en date du 11 décembre 2014)

Article 9. Protection de la propriété intellectuelle – Faux et usage de faux, contrefaçon, plagiat

L'utilisation des ressources informatiques de l'Université implique le respect de ses droits de propriété intellectuelle ainsi que ceux de ses partenaires et plus généralement, de tous tiers titulaires de tels droits.
En conséquence, chaque utilisateur doit :
- utiliser les logiciels dans les conditions de licences souscrites ;
- ne pas reproduire, copier, diffuser, modifier ou utiliser des logiciels, bases de données, pages Web, textes, images, photographies ou autres créations protégées par le droit d'auteur ou un droit privatif, sans avoir obtenu préalablement l'autorisation des titulaires de ces droits.

La contrefaçon et le faux
Conformément aux dispositions du code de la propriété intellectuelle, toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle d'une œuvre de l'esprit faite sans le consentement de son auteur est illicite et constitue un délit pénal.
L'article 444-1 du code pénal dispose : « Constitue un faux toute altération frauduleuse de la vérité, de nature à causer un préjudice et accomplie par quelque moyen que ce soit, dans un écrit ou tout autre support d'expression de la pensée qui a pour objet ou qui peut avoir pour effet d'établir la preuve d'un droit ou d'un fait ayant des conséquences juridiques ».
L'article L335_3 du code de la propriété intellectuelle précise que : « Est également un délit de contrefaçon toute reproduction, représentation ou diffusion, par quelque moyen que ce soit, d'une œuvre de l'esprit en violation des droits de l'auteur, tels qu'ils sont définis et réglementés par la loi. Est également un délit de contrefaçon la violation de l'un des droits de l'auteur d'un logiciel (…) ».

Le plagiat est constitué par la copie, totale ou partielle d'un travail réalisé par autrui, lorsque la source empruntée n'est pas citée, quel que soit le moyen utilisé. Le plagiat constitue une violation du droit d'auteur (au sens des articles L 335-2 et L 335-3 du code de la propriété intellectuelle). Il peut être assimilé à un délit de contrefaçon. C'est aussi une faute disciplinaire, susceptible d'entraîner une sanction.
Les sources et les références utilisées dans le cadre des travaux (préparations, devoirs, mémoires, thèses, rapports de stage…) doivent être clairement citées. Des citations intégrales peuvent figurer dans les documents rendus, si elles sont assorties de leur référence (nom d'auteur, publication, date, éditeur…) et identifiées comme telles par des guillemets ou des italiques.
Les délits de contrefaçon, de plagiat et d'usage de faux peuvent donner lieu à une sanction disciplinaire indépendante de la mise en œuvre de poursuites pénales.