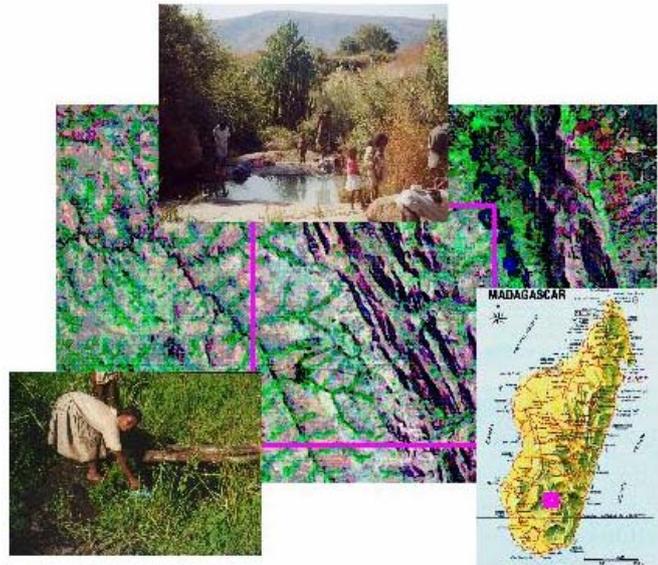


Approche éco-géographique de l'environnement de la transmission de la schistosomose intestinale de l'Homme au sud des Hautes Terres de Madagascar



THESE DE DOCTORAT

LETTRES « Systèmes, Images, Langages » -Mention GEOGRAPHIE-
UNIVERSITE JEAN MOULIN (LYON 3)

Marie Fortmann-Ravoniarilala

9 décembre 2005

Membres du jury

P. BREMOND	Chargé de recherche (HDR), IRD, Montpellier	Co-directeur de thèse
P. HANDSCHUMACHER	Chargé de recherche, IRD, Strasbourg	Examineur
M. MIETTON	Professeur, Université Lyon 3	Co-directeur de thèse
J-N. SALOMON	Professeur, Université Bordeaux 3	Rapporteur
A. THERON	Directeur de recherche CNRS, Université de Perpignan	Rapporteur

AVANT-PROPOS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont apportée, chacune à leur manière, leur aide, leur collaboration et leur soutien dans la réalisation de cette thèse. Il m'est difficile de les nommer toutes. Je tiens à assurer chacune d'entre elles de toute ma reconnaissance.

Celle-ci s'adresse en particulier à M. Michel MIETTON, Professeur à l'Université Jean Moulin Lyon 3, que j'ai eu l'honneur de connaître à l'UFR de Géographie de l'Université Louis Pasteur Strasbourg 1, dans le cadre de ses enseignements, nous montrant l'intérêt d'une géographie globalisante, en particulier dans les problématiques environnement-santé. Cette thématique - qui m'a immédiatement passionnée - a fait l'objet de mon mémoire de DEA « Systèmes spatiaux et environnement » en 1999, que M. MIETTON a accepté d'encadrer. Ce mémoire intitulé « L'utilisation des exigences bio-écologiques de complexes pathogènes à transmission factorielle comme indicateurs de zones à risques sanitaires : exemples du paludisme, des schistosomoses et de la peste humaine étudiés en région afrotropicale à partir de références bibliographiques » était un travail exploratoire en vue de la préparation de mon Doctorat. Je le remercie vivement d'avoir accepté la direction de mes travaux de thèse et d'avoir été l'instigateur de mes recherches sur le terrain. Je le remercie également de m'avoir accueillie et hébergée durant les premières semaines de mon séjour à Madagascar. Il m'a également aidée à prendre contact avec d'autres institutions scientifiques pour réaliser ce travail qui est à l'interface de plusieurs disciplines : géographie, climatologie, hydrologie, biologie et médecine.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à M. Philippe BREMOND, Chargé de recherche à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD, ex-ORSTOM), responsable de mon séjour à Madagascar, qui m'a accueillie dans son équipe de recherche et qui a co-dirigé ma thèse. Il m'a fait profiter de sa grande expérience du terrain et de ses larges compétences scientifiques pour m'apporter une vision transdisciplinaire et réaliste de la complexité des maladies parasitaires. Les nombreuses heures passées ensemble sur le terrain mais aussi durant les phases de traitement des données et de rédaction m'ont permis d'apprécier sa patience et son grand humanisme. Je le remercie pour son accueil lors de mes séjours à l'IRD de Montpellier.

Je remercie les membres de mon jury de thèse :

- M. Jean-Noël SALOMON, Professeur à l'Université de Bordeaux 3, qui m'a fait l'honneur d'accepter d'être rapporteur de ma thèse, tout en disposant de peu de temps pour la lecture du manuscrit ;

- M. André THERON, Directeur de recherche au CNRS à Perpignan, biologiste qui m'a fait l'honneur d'accepter d'être rapporteur de ma thèse, malgré ses nombreuses activités scientifiques ;

- M. Pascal HANDSCHUMACHER, Chargé de recherche à l'IRD, en poste à l'UFR de Géographie de Strasbourg, pour l'intérêt porté à mes recherches.

L'approche environnement-santé est particulièrement intéressante mais elle est aussi complexe et riche lorsqu'elle abordée sous l'angle original de la transdisciplinarité. Ce travail est le résultat d'enquêtes et de mesures réalisées dans la région d'Ihosy (sud des Hautes Terres) à Madagascar, en tant que Coopérant au Service National, de juin 2000 à avril 2002, auprès de l'Equipe Schistosomoses.

Ce travail a bénéficié du concours et de l'aide de plusieurs institutions que je tiens à remercier.

Mes grands remerciements vont à l'IRD (le Département Sociétés et Santé) qui m'a fait bénéficier d'un contrat de Coopérant du Service National et m'a permis d'avoir un financement pour une partie de ma formation doctorale.

Je remercie le Représentant de l'IRD à Madagascar, M. François JARRIGE, pour son soutien sans faille.

Je remercie vivement M. Bertrand SELLIN, Directeur de recherche à l'IRD et directeur du programme RAMSE jusqu'en 2000, ainsi que son épouse Elisabeth pour leur accueil à Madagascar, leur confiance et leur soutien tout au long de mon parcours.

Au sein de la représentation de l'IRD à Madagascar, je tiens à remercier tout particulièrement Mme Gabrielle RANDRIA pour son accueil chaleureux, les nombreux services qu'elle m'a rendus et son amitié.

J'exprime ma grande reconnaissance à Mme. Vololomboahangy RAVAOALIMALALA, directrice du Laboratoire Central des Bilharzioses (LCB), au sein de la Direction de la Lutte contre les Maladies Transmissibles (DLMT), à M. Philippe MAUCLERE, directeur l'Institut Pasteur de Madagascar (IPM), à M. René MIGLIANI, chef de l'Unité Epidémiologie (IPM), et à M. Léon Paul RABARIJAONA et Mme Isabelle JEANNE qui ont travaillé sur la bilharziose dans la région d'Ihosy.

Pour le partenariat avec l'Université d'Antananarivo, je tiens à remercier Mme Jeanne RASAMY, biologiste et maître de conférences à la Faculté des Sciences, pour sa collaboration aux enquêtes malacologiques et à l'étude de la transmission de la bilharziose intestinale autour d'Ihosal.

J'exprime aussi mes remerciements à M. Samuel RAZANAKA, directeur du Centre National de Recherches sur l'Environnement (CNRE), et à M. Laurent ROBISON, responsable du Département "Ecosystèmes aquatiques et côtiers" pour leur partenariat. Merci à M. Vincent de PAUL pour ses précieux conseils et son aide sur le terrain pour l'installation des appareils de mesures climatiques et hydrologiques.

Un grand merci aussi à la Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar, pour le prêt de matériel hydrologique et les données hydro-climatiques fournies.

Je remercie le directeur et le personnel du "Foiben Taosarintanin'I Madagasikara" (FTM), l'Institut Géographique et Hydrographique national malgache.

Mes remerciements vont également à M. Jean-Marc HOUGARD et M. Didier FONTENILLE, Directeurs de recherche à l'IRD, et directeurs de l'UR 016 "Caractérisation et contrôle des populations de vecteurs" qui m'ont accueillie au sein de son unité à l'IRD de Montpellier au cours de différentes missions, afin que je puisse optimiser le traitement d'une partie de mes données avec mon co-directeur M. Philippe BREMOND.

Je remercie sincèrement M. Jean-Luc MERCIER, directeur de l'UFR de Géographie de Strasbourg, qui m'a permis de rédiger ma thèse dans les locaux de l'UFR, lors de mon retour de Madagascar.

J'adresse particulièrement ma reconnaissance à M. Tony CURTIS, excellent connaisseur de la région d'Ihosal et exceptionnel compagnon de terrain qui m'a accompagnée tout au long de mes recherches dans la région d'Ihosal. C'est grâce à lui que j'ai pu mener mes enquêtes auprès des villageois après avoir gagné leur confiance. Je le remercie également pour sa disponibilité et sa motivation sans faille pour les relevés hydro-climatiques effectués quotidiennement, dans des conditions souvent difficiles, notamment pour les mesures des crues dans la vallée d'Ihosal souvent faites la nuit.

Je remercie également M. Paul RAMANANTSOA, qui a effectué les relevés hydro-climatiques quotidiens à Kelivondraka.

Je voudrais également remercier les autorités locales pour leur collaboration à nos travaux : le centre anti-acridien d'Ankily, dont le responsable M. Emmanuel RAKOTOVAO a accepté que nous installions un pluviographe à côté du centre et qui a effectué les relevés des données en notre absence ; le directeur du Centre Hospitalier du District d'Ihosal, le Centre de Santé de Base d'Ankily, le directeur de la Circonscription scolaire (CISCO) d'Ihosal et le personnel enseignant, la sous-préfecture d'Ihosal.

Je voudrais également remercier les habitants de la région d'Ihosal, qui m'ont toujours accueillie avec la même disponibilité et avec qui j'ai souvent tissé des liens amicaux.

J'ai une pensée particulière pour la famille RASOLOFOSON qui m'a été d'un grand soutien à Ihosal et à Strasbourg.

Au sein de l'équipe Schistosomoses de l'IRD à Antananarivo, je voudrais citer mes collaborateurs avec qui j'ai eu le plaisir de travailler sur le terrain : M. Armand RAFALIMANANTSOA, Mme Virginie HANITRASOAMAMPIONINA, M. Nirina RAVELOSON, M. Clovis RAKOTOARISOA, Mlle Rondro RASATAVONJIZAY et mes collègues Mme Hélène RANDRIA, Mlle Fanja RAHANITRINIONY, Mlle Zoely RANDRIAMBELO et Mme Reyna RABIAZA.

Je remercie également M. Emmanuel GRISORIO, Docteur en Géographie, avec qui j'ai partagé de nombreuses discussions enrichissantes lors de notre séjour commun à Madagascar et lors de notre retour en France. Je le remercie pour sa disponibilité et son soutien.

Je tiens aussi à remercier M. François PESNEAUD, maître de conférences à la Faculté de Géographie de Strasbourg, qui a répondu aux questions que je me posais.

J'exprime également ma grande reconnaissance à M. Reza NAJIB, Docteur en Hydrologie, actuellement Responsable de la Gestion Intégrée des Ressources Naturelles au sein de "Food and Agriculture Organization" (FAO) Sub-Regional Office for North Africa (SNEA) à Tunis (Tunisie), qui a répondu avec une grande disponibilité à mes questions en hydrologie.

Merci à François, Renata, Ibrahima, Andreas, Katia et les autres... pour leur amitié et leurs encouragements.

A mes parents, mes grands-parents et toute ma famille : je ne vous remercierai jamais assez pour votre appui de tous les instants et vos encouragements dans mes études. Sans eux aussi, cette thèse n'aurait pu être menée à bien.

Et bien sûr, Rija, je ne te remercierai jamais assez pour ton soutien et ta patience inestimables. Ta présence à mes côtés est essentielle.

INTRODUCTION GENERALE

Les problèmes de développement, d'environnement et de santé sont étroitement imbriqués. La mauvaise santé fait obstacle au développement de l'économie et de la société, en déclenchant un cercle vicieux qui contribue à l'exploitation non durable des ressources et à la dégradation du milieu.

L'eau est la ressource naturelle la plus précieuse. Elle est indispensable à la vie mais peut dans un même temps être à l'origine du développement de nombreuses maladies graves. Lors du sommet « L'eau, source de vie : 2005-2015 » organisé par les Nations Unies dans le cadre de la Journée Mondiale de l'eau en mars 2005, il a été rappelé qu'environ 2,3 milliards d'individus souffrent de maladies liées à l'eau et plus de 2 millions de personnes, des enfants pour la plupart, meurent chaque année des maladies d'origine hydrique.

Dans les pays du Sud, plus encore que dans les pays industrialisés, la gestion de la qualité et de la quantité de l'eau, qui est un enjeu majeur, est rendue difficile du fait de l'irrégularité des pluies, de l'insuffisance d'infrastructures et d'assainissement, du manque d'hygiène et d'éducation sanitaire, et de la pauvreté. Le stockage et la redistribution de l'eau, par l'intermédiaire de barrages et d'hydro-aménagements, y sont une nécessité pour développer ou simplement maintenir les productions agricoles, animales, halieutiques ou énergétiques. Au-delà des aspects bénéfiques qu'ils peuvent engendrer au niveau de la sécurité alimentaire et de l'amélioration de l'économie, ces hydro-aménagements peuvent conduire à l'expansion, voire à l'apparition de maladies parasitaires dites eau-dépendantes. Parmi ces pathologies, le paludisme (ou malaria) et les schistosomoses (ou bilharzioses) se placent au premier plan en terme de prévalence. Si les secondes, qui font intervenir un hôte intermédiaire obligatoire (mollusque), sont moins graves que le paludisme, à transmission vectorielle (piqûre de moustique), elles n'en sont pas moins très répandues et sont tout autant influencées par les modifications des écosystèmes liées aux aménagements hydro-agricoles, qui offrent généralement des conditions favorables à la transmission, qu'elle soit considérée sous l'angle de l'introduction des œufs du parasite dans le milieu hydrique ou sous celui de l'infestation de l'homme par pénétration transcutanée lors d'un contact direct avec l'eau.

Pour autant, les seules conditions du milieu ne peuvent expliquer le développement et l'extension des schistosomoses et l'hétérogénéité des situations épidémiologiques rencontrées à l'échelle des foyers de transmission. L'homme, par ses pratiques et activités, la gestion de son environnement en relation avec les milieux hydriques, est l'acteur essentiel du système de

transmission. Ce dernier met en exergue l'expression des relations entre les populations et leur environnement et prend en ce sens une connotation véritablement géographique.

Les disparités entre les connaissances biologiques et médicales acquises dans le domaine des maladies parasitaires et la réalité actuelle de la circulation des parasites constituent des interrogations majeures en terme de santé publique (Handschumacher *et al.*, 2003). La complexité des interrelations dans les systèmes de transmission des maladies parasitaires liées à l'eau a conduit les scientifiques à développer ces dernières années une approche la plus globalisante possible, où la géographie vient occuper une place centrale et connective par rapport aux autres disciplines. L'intérêt pour une telle approche dans les problématiques environnement-santé (Quesne, 1997) ne date pas d'aujourd'hui comme en attestent le traité intitulé "Airs, eaux et lieux" d'Hippocrate (460-370 av. J.-C.) ou encore la mise relation par Snow (1846) entre la fréquentation de bornes fontaines polluées et le choléra à Londres, mais il a été minimisé au XX^{ème} siècle au profit d'une interprétation uni-causale et monodisciplinaire.

L'objectif de la géographie est d'appréhender les relations entre les différents acteurs et les facteurs environnementaux des systèmes de transmission dans les dimensions spatiales et temporelles, en se plaçant aux "bonnes" échelles, qui sont celles des manifestations épidémiologiques, elles-mêmes déterminées par l'écologie des hôtes intermédiaires ou vecteurs et les activités humaines. Ce faisant, elle aide à définir les risques de transmission et de diffusion et à identifier les populations et les espaces à risque. La démarche devient alors systémique à l'interface environnement-santé.

Alors que l'écologie de la transmission des schistosomes et la détermination d'indicateurs de risque de transmission ont fait l'objet de nombreuses études en Amérique Latine, en Afrique et en Asie, l'île de Madagascar, affectée par deux schistosomes (intestinale et urinaire), présente de graves lacunes dans ce domaine.

La région du sud des Hautes Terres malgaches est fortement touchée par la schistosome intestinale à *Schistosoma mansoni*, qui pose un problème de santé complexe à appréhender, lié à l'hétérogénéité des niveaux d'endémie des villages dans l'espace et à une mauvaise connaissance des conditions de sa transmission. Elle est caractérisée par une diversité de paysages, liée à des nuances tant sur le plan humain que physique : relief contrasté de plaine et de plateau entre 700 et 1000 m, agriculture essentiellement rizicole associée à de l'élevage bovin, forte immigration depuis le Sud et les Hautes Terres.

L'abondance et la diversité des milieux hydriques dans cette région rendent difficile l'appréhension de la distribution du mollusque hôte intermédiaire et de ses modes de colonisation des collections d'eau, susceptibles de constituer des sites de transmission plus ou moins importants et durables à l'échelle du foyer, selon les contraintes hydro-climatiques et les comportements complexes de l'homme dans ses relations avec ces milieux.

Face à ces complexités, nous avons souhaité apporter un éclairage géographique sur l'écologie de la transmission de la schistosomose intestinale. Nos recherches reposent sur une approche géographique globale (physique et humaine) développée en connexion étroite avec les enquêtes malacologiques et épidémiologiques menées par les chercheurs des institutions d'accueil et partenaires, dans un cadre de recherche qui se veut transdisciplinaire.

Différentes questions peuvent alors être posées pour aborder cette étude.

Il est nécessaire de savoir comment approcher le modèle environnement-santé, compte tenu de ce que l'on sait déjà sur le cycle de transmission des schistosomes et sur la zone d'étude.

Il est important de savoir quelles sont les caractéristiques puis les ressemblances et les dissemblances des terroirs et des populations qui les occupent dans la région d'étude.

Il est également essentiel de se demander quelles sont les caractéristiques hydro-climatiques en situations locales contrastées et quelles influences elles ont sur la distribution des hôtes intermédiaires dans le temps et dans l'espace.

Il est aussi fondamental de s'interroger sur la diversité des activités liées à l'eau, les modalités des contacts sur les biotopes hydriques à risque potentiel et leurs influences sur le statut parasitaire des individus.

Toutes ces questions permettent de se demander finalement dans quelle mesure une telle étude peut contribuer au contrôle de la schistosomose intestinale à Madagascar.

Afin de répondre à ces différentes questions nous développons une première partie, axée d'une part sur la présentation du modèle "schistosomes", en particulier la schistosomose intestinale à Madagascar (répartition, cycle, contrôle) et sur l'approche retenue pour développer une contribution géographique (chapitre 1), et d'autre part sur les caractères (physiques, climatiques, humains) et les connaissances sur l'épidémiologie et la transmission de l'endémie dans la zone d'étude (chapitre 2).

Une deuxième partie permet de définir les caractéristiques géographiques (populations, terroirs, milieux hydriques, relations à l'eau) de certains des villages de la région d'Ithosy pour lesquels on dispose de connaissances récentes issues d'enquêtes malacologiques et parasitologiques (chapitre 3), et plus précisément à deux villages, retenus en vue d'études plus

détaillées et pour lesquels la description des structures démographiques et des terroirs est développée (chapitre 4).

Une troisième partie est développée en faisant le lien entre les facteurs climatiques majeurs que sont les températures et précipitations (chapitre 5), les réponses hydrologiques générées par ces dernières (chapitre 6) et la distribution des mollusques hôtes intermédiaires dans le temps et l'espace (chapitre 7).

Enfin, le rapport entre les activités humaines liées à l'eau (en prenant en compte les critères démographiques), selon leur niveau de pratique (chapitre 8) et les types de milieux hydriques fréquentés (chapitre 9), et les niveaux d'infestation aux échelles individuelle et de groupes (chapitre 10), sera examiné dans une quatrième partie.

Il sera alors possible de conclure cette étude en faisant une synthèse de ces considérations, nous permettant de proposer une approche originale dans la stratégie de contrôle de la schistosomose intestinale à Madagascar.

PARTIE I

CADRE DE L'ETUDE

L'eau, ressource naturelle indispensable à la vie, est aussi devenue, de manière directe ou induite, la première cause de mortalité et de maladie au monde chez l'homme. L'inéluctable raréfaction et l'inégalité croissante de la répartition des ressources en eau conduisent en effet à une inquiétante dégradation de la qualité de l'eau, qui a de lourdes conséquences en matière de santé. Ainsi, dans les pays en voie de développement, 80% des maladies sont dites hydriques ou eau-dépendantes, liées à l'absence d'hygiène, au manque d'eau salubre et à la pauvreté.

Parmi ces maladies, les schistosomoses (ou bilharzioses) sont très développées dans les régions tropicales. A Madagascar où se situe notre étude, il existe deux schistosomoses qui posent un important problème sanitaire.

Ces parasitoses ont un cycle évolutif à deux hôtes obligatoires (l'hôte intermédiaire qui est un mollusque d'eau douce et l'hôte définitif qui est principalement l'homme mais aussi certains mammifères). Le cycle correspond alternativement à des stades libres éphémères en eau douce (larves nageantes issues du mollusque et de l'homme) et à des stades parasites chez les deux hôtes.

Les schistosomoses ne peuvent se contracter que par un contact direct entre l'homme et le milieu hydrique hébergeant les larves infestantes des parasites. Les parasites ne peuvent se trouver dans l'eau, sous forme de stades libres ou chez son hôte intermédiaire que s'ils y ont été introduits par l'homme, via les selles ou les urines. Elles sont donc liées à l'absence ou l'insuffisance de mesures d'hygiène, d'assainissement et d'éducation sanitaire.

La dynamique de transmission des schistosomoses dépend à la fois des conditions écologiques du milieu d'eau douce qui peut héberger l'hôte intermédiaire obligatoire de

l'espèce parasite et des contacts de l'homme à l'eau qui le conduisent à s'infester mais aussi à contaminer le milieu hydrique.

Cette première partie a pour but de présenter (chapitre 1), à l'échelle mondiale puis à Madagascar, les schistosomes de l'homme, leur taxonomie, leur cycle évolutif, leur répartition, leur pathologie, les méthodes pour les diagnostiquer et les programmes développés en terme de contrôle. Elle permet également de justifier de l'intérêt d'une approche géographique de la transmission dans un cadre de recherche transdisciplinaire¹ (chapitre 1). Elle donne aussi (chapitre 2) la trame du cadre environnemental de l'étude, et permet de faire l'état des connaissances des recherches malacologiques, parasitologiques et géographiques sur la schistosomose intestinale à l'échelle de la sous-préfecture (ou District) d'Ihoso (sud des Hautes Terres). Elle permet par ailleurs de présenter notre approche de la dynamique de transmission de cette endémie (chapitre 2).

.

¹ Comme l'indique son préfixe "trans", la transdisciplinarité est la posture scientifique et intellectuelle qui se situe à la fois entre, à travers et au-delà de toute discipline. Ce processus d'intégration et de dépassement des disciplines a pour objectif la compréhension de la complexité du monde moderne et présent (Nicolescu, 1996). Sa tâche prioritaire consiste en l'élaboration d'un nouveau langage, d'une nouvelle logique, de nouveaux concepts pour permettre l'émergence d'un véritable dialogue entre les spécialistes des différentes branches de la connaissance. La transdisciplinarité se distingue ainsi de la pluridisciplinarité et de l'interdisciplinarité en ce sens qu'elle déborde les disciplines d'une part, mais surtout d'autre part que sa finalité ne reste pas inscrite dans la recherche disciplinaire proprement dite.

-CHAPITRE 1-

LA TRANSMISSION DES SCHISTOSOMOSES

VUE SOUS L'ANGLE GEOGRAPHIQUE

Les parasitoses intestinales (bilharzioses, amibiase, ankylostomiase...), bien qu'elles suscitent de nos jours peu d'intérêt comparativement à des maladies comme le paludisme ou le sida, constituent en milieu tropical un risque sanitaire important pour les populations.

Plus de deux milliards de personnes sont touchées dans le monde par les parasitoses et en milieu tropical ces infections représentent près de 40% de l'ensemble des maladies autres que le paludisme (Dianou *et al.*, 2004). Elles touchent particulièrement les enfants chez qui elles peuvent engendrer anémie, baisse de résistance aux infections, voire le décès.

Les schistosomoses de l'homme se placent au deuxième rang des maladies parasitaires tropicales après le paludisme, par le nombre de sujets infestés. Les bilharzioses sont réparties sur plusieurs continents (Afrique, Asie, Amérique latine). Dans de nombreux pays, les autorités sanitaires ont réussi à réduire considérablement l'impact de ces maladies sur la santé publique bien que le nombre de personnes infectées dans le monde n'ait pas changé depuis 50 ans. Le recul de la schistosomose en Amérique latine, en Asie et dans la plupart des pays des Caraïbes et du Moyen-Orient est compensé par une augmentation des populations à risque, notamment en Afrique subsaharienne où les mouvements de population, la croissance démographique, le développement des ressources en eau et les autres priorités de santé publique ont contribué à l'augmentation des cas de bilharziose (WHO, 2004).

Dans ce premier chapitre, nous ferons le point sur les connaissances concernant les schistosomoses de l'homme, au niveau mondial et plus particulièrement à Madagascar. Nous montrerons également l'importance du milieu hydrique comme environnement de la transmission parasitaire et l'intérêt d'une approche transdisciplinaire intégrant de multiples champs de la géographie, mis en relation avec les disciplines biomédicales.

I- Les schistosomoses, des parasitoses majeures

I.1- Répartition spatiale et taxonomie

Les schistosomoses, endémies eau-dépendantes répandues dans 76 pays en voie de développement, touchent environ 200 millions d'individus (WHO, 2003). Même si des opérations de contrôle ont été menées avec succès dans différents pays (Arabie Saoudite, Maroc, Porto-Rico, Tunisie Brésil, Egypte, ... (WHO, 1998)), 600 millions de personnes restent exposées aux bilharzioses (WHO, 2002a), particulièrement dans la zone intertropicale.

En terme de mortalité, le nombre annuel de décès provoqués par ces maladies en Afrique subsaharienne pourrait atteindre 200 000 (Van der Werf & De Vlas, 2001 ; WHO, 2004). Il s'agit donc d'un risque sanitaire majeur.

Le niveau d'endémie et la distribution spatiale des schistosomoses ont changé dans de nombreuses régions et pays au cours des siècles, notamment avec la mise en œuvre d'aménagements hydro-agricoles et les mouvements des populations (traite des esclaves...). Dans la vallée du Nil, suite à la construction du barrage d'Assouan, le niveau de prévalence de la schistosomose uro-génitale a augmenté, à partir de 1971. Au Sénégal, la schistosomose intestinale a enregistré une extension spatiale, notamment dans la ville de Richard-Toll dans la vallée du fleuve Sénégal, qui a connu une épidémie en 1988 (Talla *et al.*, 1990 ; Handschumacher *et al.*, 1995 ; Philippe *et al.*, 1997).

Maladies insidieuses, les schistosomoses sont souvent sous-estimées en santé publique en raison de leur répartition très hétérogène à l'échelle d'un pays et du fait qu'elles restent longtemps cliniquement asymptomatiques ou discrètes.

Les schistosomoses sont dues à des vers plats (Plathelminthes) de la classe des Trématodes, les schistosomes (ou bilharzies), appartenant au genre *Schistosoma*. Ils sont gonochoriques (à sexes séparés), hématophages et vivent dans le système circulatoire de l'homme mais aussi de certains mammifères sauvages (rongeurs) ou domestiques (bovins). Parmi les dix-neuf espèces de parasites identifiées, cinq sont pathogènes pour l'homme, qu'elles soient spécifiques ou non de cet hôte définitif. Les quatorze autres espèces sont zoophiles (affectant en particulier le bétail).

Les cinq espèces touchant l'homme se répartissent en trois groupes selon la morphologie des œufs et présentent une répartition géographique variable (Doumenge *et al.*, 1987).

Le groupe à œuf à éperon latéral renferme une unique espèce, *S. mansoni* **Sambon, 1907**, agent d'une bilharziose intestinale, qui présente une vaste aire de répartition géographique (Afrique, Madagascar, partie orientale de l'Amérique du Sud, Caraïbes). Cette espèce est présente actuellement dans 55 pays. Sur le continent africain, on trouve le parasite au nord du Sahara, dans la vallée du Nil essentiellement, tandis qu'au sud du désert son aire de répartition est plus étendue que celle de *S. haematobium* (Ernould, 1996). Il a été introduit récemment à Djibouti, en Mauritanie et en Somalie (WHO, 1998). Le cycle du parasite s'effectue préférentiellement dans des milieux hydriques pérennes, à faibles courants et riches en végétation aquatique, répondant aux exigences écologiques des différentes espèces du mollusque hôte intermédiaire (Gentilini *et al.*, 1993).

Le groupe à œuf à éperon terminal englobe deux espèces :

- *S. haematobium* (**Bilharz, 1852**), agent de la bilharziose uro-génitale, est endémique dans 53 pays répandus dans toute l'Afrique, à Madagascar, ainsi que dans une partie du Proche-Orient et du Moyen-Orient ; il est transmis de manière préférentielle dans des milieux hydriques temporaires des zones savanicoles, où le trait climatique prédominant est l'alternance d'une saison sèche et d'une saison humide ;

- *S. intercalatum* **Fisher, 1934** provoque une bilharziose rectale dont l'aire de répartition géographique est restreinte à l'Afrique Centrale (WHO, 1993) et est surtout concentrée sur l'ex-Zaïre, le Cameroun et le Gabon. Une espèce jumelle *S. guineensis* a été identifiée au sein du taxon *S. intercalatum* (Combes & Jourdane, 2003).

Le groupe à œuf à éperon rudimentaire englobe deux espèces anthropozoophiles responsables d'une schistosomose intestinale :

- *S. japonicum* (**Katsurada, 1904**) est l'agent d'une bilharziose qui sévit surtout en Chine, à Taiwan, aux Philippines et en Indonésie ;

- *S. mekongi* **Voge, Bruckner & Bruce, 1978** provoque une schistosomose intestinale proche de celle à *S. japonicum* ; ce parasite n'est pas signalé ailleurs que dans la région du Mékong (Laos, Thaïlande, Cambodge).

I.2- Pathologie et diagnostic

Ces maladies provoquent un affaiblissement de l'organisme et causent des lésions communes aux différentes espèces de parasites (foie, poumon...), mais aussi des lésions de l'appareil urinaire pour la schistosomose uro-génitale et de l'intestin pour les

schistosomoses intestinales et rectale. Parfois des complications graves peuvent survenir ; calcification et cancer de la vessie dans le cas de la schistosomose uro-génitale, hypertension portale pour les schistosomoses intestinales. L'hématurie pour la bilharziose uro-génitale, des crises diarrhéiques sanglantes et une splénomégalie pour les schistosomoses intestinales et rectale constituent les principaux symptômes.

Le diagnostic des différentes schistosomoses est basé sur des méthodes dites directes et indirectes.

Pour les schistosomoses intestinales et rectale on distingue :

- Les méthodes indirectes, qui consistent à détecter la maladie par diverses voies (clinique (palpation), enquêtes par questionnaires) ;
- Les méthodes directes qui englobent :
 - La méthode directe dite qualitative ou de concentration MIF (merthiolate-iode-formol), qui consiste en un simple examen entre lame et lamelle d'un échantillon de selles (concentré préalablement par centrifugation puis dilué) ; elle est utilisée pour estimer rapidement la prévalence² chez une population donnée ;
 - La méthode directe dite quantitative ou de Kato-Katz ; méthode calibrée qui consiste à comptabiliser les œufs présents dans une quantité donnée de selles et permet donc d'estimer, en plus de la prévalence, la charge en œufs (exprimée / g de selles) ;
 - Le diagnostic par sérologie (hyperéosinophilie), mais qui ne permet pas de préciser l'espèce de schistosome.

Pour la schistosomose uro-génitale, les méthodes indirectes sont variées ; recherche d'une hématurie par bandelette réactive, enquêtes par questionnaires (Lengeler *et al.*, 2000 ; Utzinger *et al.* , 2000 ; Randrianasolo *et al.*, 2002). Les méthode directe regroupent le diagnostic par sérologie et la recherche de la présence d'œufs dans les urines filtrées et déterminer l'oviurie (nombre d'œufs/ 10 ml), indicateur de la charge parasitaire.

² Prévalence : % d'individus infestés dans une population enquêtée à un moment donné.

I.3- Prévention et lutte : le contrôle

La lutte contre les schistosomoses repose essentiellement sur la chimiothérapie au praziquantel (Biltricide®), médicament efficace contre les cinq espèces de parasites pathogènes pour l'homme.

Resté durant de longues années peu accessible pour les populations en raison de son coût élevé, il est aujourd'hui plus abordable grâce à la mise au point de ses versions génériques. A titre indicatif, un traitement d'un individu d'âge scolaire en Afrique nécessite 2 cachets et demi, soit entre 0,16 et 0,17 Euros (WHO 2002b, WHO, 2004). Les stratégies courantes d'administration du médicament consistent en des «traitements de masse» ou des traitements sélectifs sur les populations à risque (enfants, pêcheurs, riziculteurs) ou celles les plus atteintes (fortes charges).

Le contrôle de ces parasitoses s'appuie également sur des campagnes de prévention auprès des populations, basées sur l'éducation sanitaire :

- par rapport aux pratiques de miction et de défécation (les œufs des parasites sont évacués via les urines pour la schistosomose uro-génitale et via les selles pour les schistosomoses intestinales et rectale ; cf. § I.5.1) qui doivent avoir lieu loin des collections d'eau hébergeant l'hôte intermédiaire ;
- par rapport aux contacts avec les milieux hydriques, en prévenant notamment du risque important d'infestation aux heures chaudes de la journée et dans le cas d'une immersion prolongée ;
- par rapport à l'assainissement et à la gestion des eaux par des aménagements hydro-agricoles, qui peuvent améliorer les rendements agricoles mais qui peuvent aussi créer des conditions écologiques favorables au développement de l'hôte intermédiaire et donc de la transmission de la maladie.

Mais souvent, la sensibilisation se heurte à de multiples obstacles ; absence d'hygiène et d'éducation sanitaire, absence de latrines, mœurs et coutumes très ancrées, absence d'adduction d'eau potable, de puits.

Le contrôle des schistosomoses s'appuie aussi sur la lutte par molluscicides.

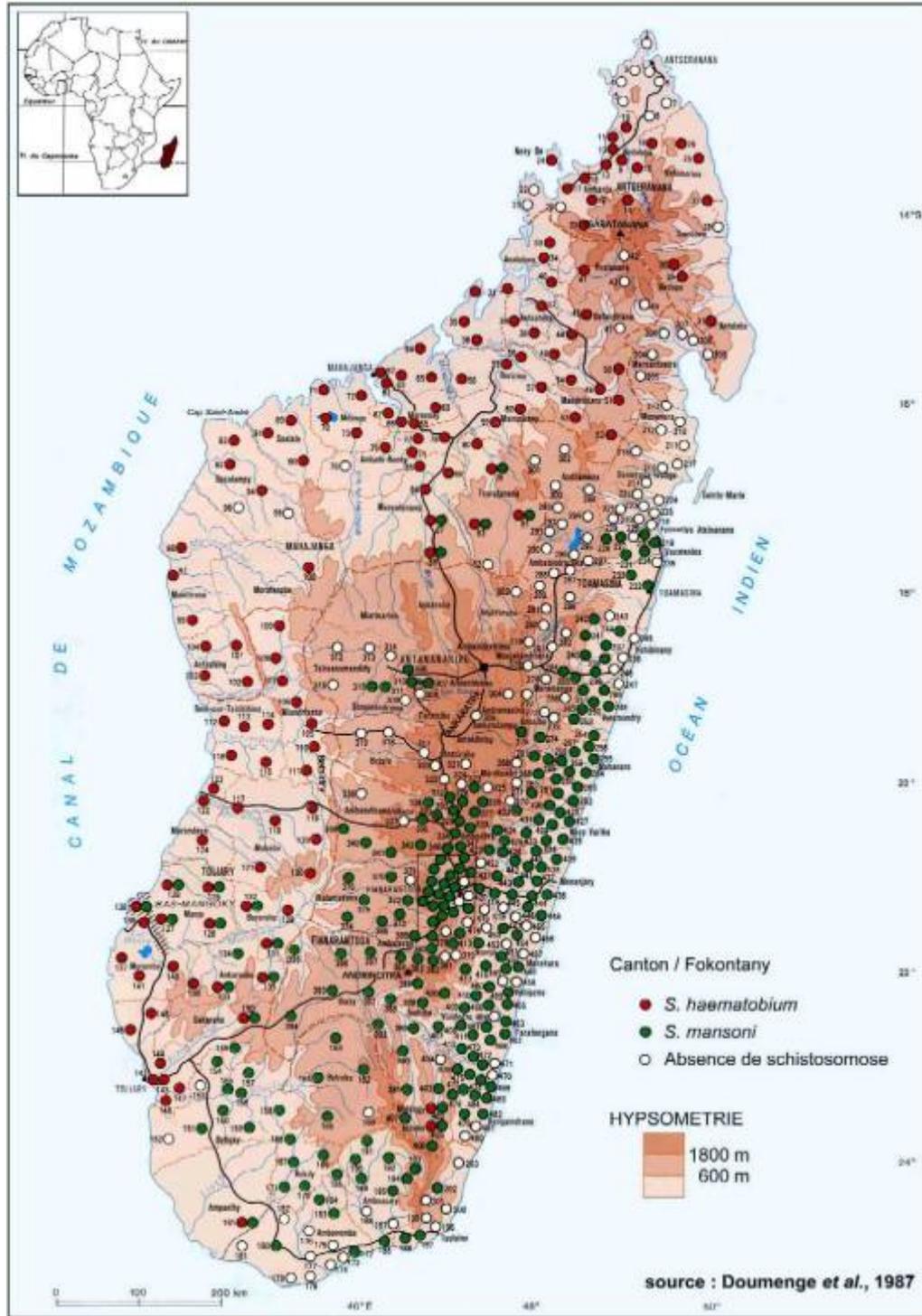
L'objectif actuel au niveau mondial en matière de contrôle des schistosomoses est non pas l'éradication de la maladie mais la diminution de la morbidité induite, liée à la charge parasitaire, elle-même liée à la prévalence.

II- Les schistosomoses de l'homme à Madagascar

A Madagascar, les schistosomoses sont représentées par deux espèces parasites de l'homme, *S. mansoni* et *S. haematobium* (schistosomoses intestinale et uro-génitale). Elles sont inconnues chez les animaux, si l'on fait exception d'infestations accidentelles par des parasites identifiés comme issus de l'homme. Selon plusieurs auteurs (Rasamy, 2000 ; Rahanitriony, 2001 ; Brémond *et al.*, 2002), *S. mansoni* peut infester de façon accidentelle le rat (*Rattus rattus*), dont le rôle d'hôte réservoir dans la transmission n'a pas été mis en évidence à Madagascar (chapitre 2).

II.1- Répartition géographique et épidémiologie

Les deux schistosomoses sont endémiques à des degrés divers sur presque la totalité du territoire de Madagascar, posant un problème de santé publique majeur pour le pays. Les deux espèces ont des aires de répartition propres mais des zones de chevauchement existent dans la région de Sakaraha au Sud-Ouest, dans la région de Maevatanana au Nord-Ouest et dans la région de Midongy-Atsimo au Sud-Est (carte 1.1).



Carte 1.1 : Répartition des schistosomoses à Madagascar (d'après Doumenge *et al.*, 1987)

II.1.1- Schistosomose intestinale

Les premiers cas de schistosomose intestinale ont été observés par Girard (1918) chez trois tirailleurs originaires du sud de l'île. Le foyer d'Ambositra (sud des Hautes Terres) a été étudié par Hasle (1928) qui y avait décrit 25 cas de schistosomose intestinale. De 1953 à 1957, de nombreuses enquêtes épidémiologiques, menées par les Groupes Mobiles d'Hygiène, ont permis de connaître la répartition des schistosomoses sur presque tout le territoire malgache, à l'exception de la Province d'Antananarivo. Cela a permis à Coulanges (1977) d'établir une première carte de répartition, complétée par Doumenge *et al.* (1987). Aujourd'hui la bilharziose intestinale sévit sur les Hautes Terres (surtout dans la région du lac Itasy et dans la partie sud (Province de Fianarantsoa et notamment la sous-préfecture d'Ihosy)), au sud et à l'est de l'île (Province de Toamasina) et dans une moindre mesure dans le Sud-Ouest (sous-préfecture de Sakaraha). Dans la Province de Tananarive elle connaît une extension relative depuis 1978, où seuls les environs d'Ampefy étaient identifiés comme atteints. Du fait que la maladie affecte les régions les plus peuplées de l'île, les personnes soumises au risque d'infestation et infestées par *S. mansoni* sont nombreuses : respectivement 2,5 millions et 2 millions d'individus (Doumenge *et al.*, 1987 ; Roux *et al.*, 1994).

II.1.2- Schistosomose uro-génitale

La schistosomose uro-génitale sévit sur la côte ouest et dans le nord-est de l'île, du sud de la Province d'Antsiranana (région d'Anivorano) à Mahajanga, et dans la région centre-ouest, de Maintirano à Toliara. Le nombre de personnes exposées au risque d'infestation est estimé à 1,5 millions et le nombre d'individus parasités à plus de 500 000 (Doumenge *et al.*, 1987 ; Roux *et al.*, 1994).

II.2- Stratégies de contrôle (PNLS)

Dans les années 1960, une cartographie de la distribution des deux schistosomoses a été établie. Entre les années 1960 et les années 1990, seules quelques actions de lutte isolées et peu intégrées dans le système de santé local ont été tentées. Limitées dans le temps, elles ont plutôt laissé aux autorités une impression d'échec et d'impuissance. Toutefois, devant l'ampleur de ces endémies et la gravité des pathologies qu'elles

entraînent, le Ministère de la Santé malgache a décidé de replacer les bilharzioses parmi ses problèmes prioritaires. La reprise des études sur ce sujet a été d'abord confiée à l'Institut Pasteur de Madagascar. Il s'agissait dans un premier temps de mieux évaluer le poids en santé publique de ces endémies et d'établir une stratégie de lutte adaptée afin de mettre sur pied, en relation avec les services du Ministère, un programme national de lutte. Le Programme National de Lutte contre les Schistosomoses (PNLS), mis en application à partir de 1998, a pour objectif principal de réduire significativement, par une chimiothérapie de masse, la morbidité induite par les deux schistosomoses chez les populations des villages hyperendémiques³.

Ce programme de recherches appliquées aux bilharzioses (coordonnateur : Pr. J. Roux) s'organise autour de trois volets :

- Le premier volet, traité par l'Unité d'Epidémiologie de l'Institut Pasteur de Madagascar (IPM ; dirigé par le Pr. Roux), pilotée par le Dr. Migliani concerne la pathologie et l'impact en santé publique des bilharzioses à Madagascar ;

- Le second volet, géré par le Laboratoire Central des Bilharzioses (LCB), dirigé par le Dr. Ravaoalimalala jusqu'en 2002, dépendant de la Direction de la Lutte contre les Maladies Transmissibles (DLMT) du Ministère de la Santé et de la Population, s'intéresse à la surveillance épidémiologique, au contrôle et au transfert des acquis de la recherche ;

- Le troisième volet géré par l'IRD (ex-ORSTOM), à travers le Programme RAMSE (Recherche Appliquée à Madagascar en Santé et Environnement), programme franco-malgache tripartite (DLMT, IRD, IPM) actif de 1995 à 2000 et qui travaillait sous la direction du Dr. Sellin sur différents problèmes de santé dont les schistosomoses, pour lesquelles la géographie (Grisorio et Schaffner, 1999 ; Grisorio, 2000, Henry-Chartier, 2000) a été associée aux sciences bio-médicales (chapitre 2).

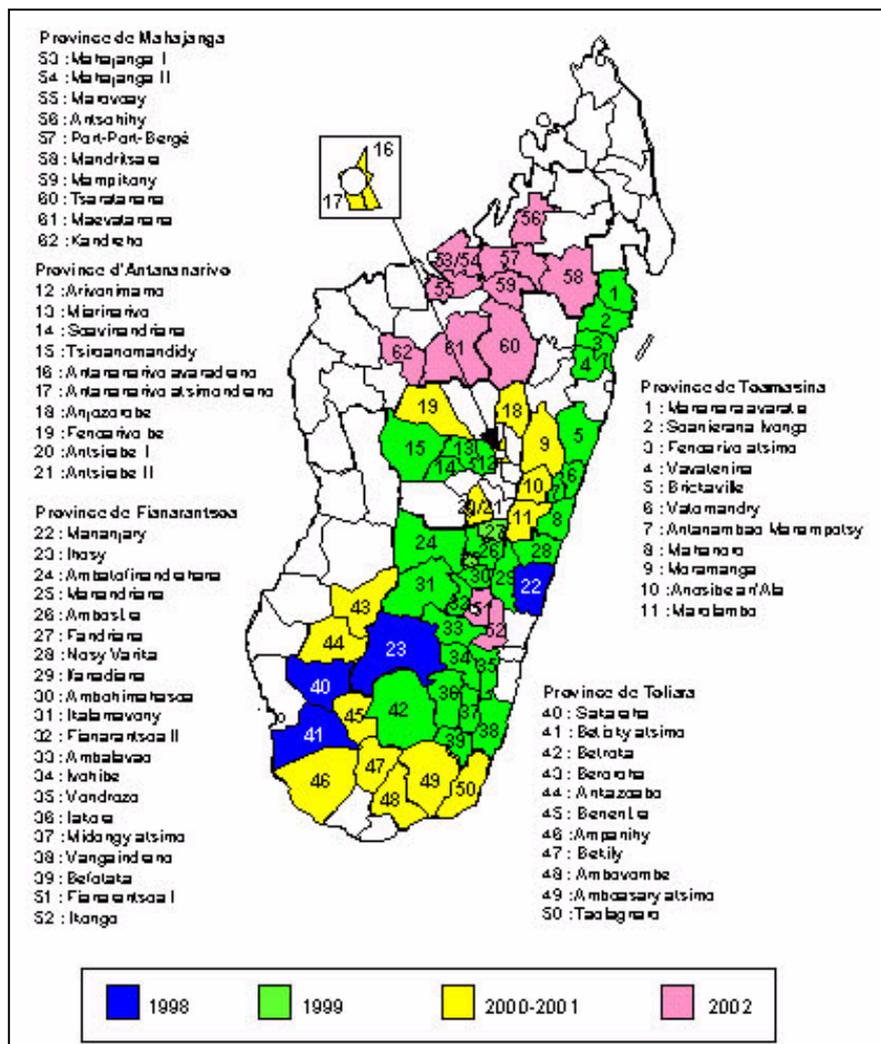
Les stratégies de contrôle développées par l'IPM et le LCB sont basées sur la détermination des foyers hyperendémiques (nouvelle méthode de diagnostic rapide et peu coûteuse (LQAS⁴)), de la périodicité optimale pour une chimiothérapie

³ foyer hyperendémique : prévalence (% d'individus parasités dans une population enquêtée) supérieure à 60% chez les enfants âgés de 5 à 14 ans.

⁴ LQAS (Lot Quality Assurance Sampling) : méthode rapide qui consiste à déterminer (MIF) la prévalence dans un échantillon d'effectif inhabituellement réduit (16) d'enfants âgés de 5 à 14 ans, tirés au sort dans un village donné. La confrontation des résultats de cette méthode avec ceux issus d'échantillons d'effectifs plus élevés montre qu'elle est fiable pour détecter les foyers hyperendémiques à Madagascar. Si le seuil de 60% est dépassé, le village est classé comme prioritaire pour la lutte (Rabarijaona, 1998).

systématique utilisant le praziquantel au niveau communautaire (chimiothérapie de masse, retraitements à 12 mois d'intervalle, réévaluations parasitologiques, sensibilisation des populations), ainsi que l'identification des groupes cibles prioritaires de cette chimiothérapie. Les stratégies de contrôle incluent la formation des personnels locaux.

Au total, entre 1998 et 2002, 62 Services de Santé de District (SSD) de 5 provinces (carte 1.2) ont mis en œuvre des plans de lutte (soit 64% des SSD où existe *S. mansoni*), qui ont permis de sonder plus de 491 villages, dont 262 (53%) ont été identifiés comme étant hyperendémiques, soit environ 100 000 personnes recensées dont 77% ont été traitées (Laboratoire Central des Bilharzioses à Madagascar, 2002).



Carte 1.2 : SSD formés à la lutte contre la bilharziose à Madagascar de 1998 à 2002 (source : Laboratoire Central des Bilharzioses, Madagascar)

III- La transmission de la schistosomose intestinale

Notre région d'étude étant concernée uniquement par la schistosomose intestinale à *S. mansoni*, sur laquelle portent nos recherches, la description du cycle évolutif sera présentée pour cette seule espèce, transmise à Madagascar par le planorbe *Biomphalaria pfeifferi*. Signalons que le cycle des autres espèces de schistosomes, impliquant d'autres genres de mollusques, est très proche.

III.1- Le cycle évolutif de *S. mansoni*

Le cycle évolutif de *S. mansoni* (figure 1.1) est caractérisé par l'alternance entre les stades parasites, sporocystes chez le mollusque, schistosomes adultes en couples appariés chez l'homme, et les stades libres dans le milieu hydrique, miracidiums issus des oeufs excrétés dans les selles de l'hôte définitif, infestants pour le mollusque, et cercaires émises par l'hôte intermédiaire, infestantes pour l'homme.

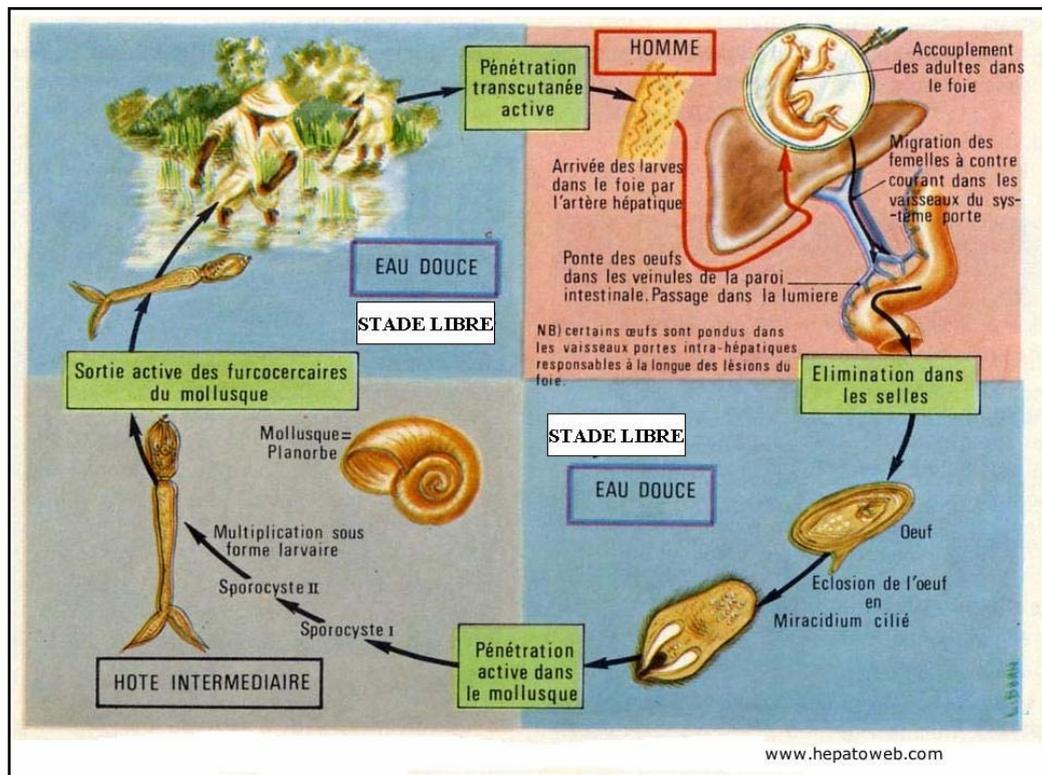


Figure 1.1 : Cycle évolutif de la schistosomose intestinale à *S. mansoni* chez l'homme (source : www.hepatoweb.com)

L'homme intervient dans le cycle bilharzien à la fois par sa contamination fécale des milieux hydriques et par son infestation lors du contact avec l'eau douce hébergeant le parasite au stade cercaire.

L'étude du cycle permet d'appréhender les relations homme-milieu qui sont très importantes dans la transmission et qui sont aussi objet d'étude du géographe.

III.1.1- De l'homme au mollusque

Les oeufs issus de la reproduction sexuée des vers sont émis dans le milieu extérieur avec les selles d'individus infestés.

Une fois dans l'eau et lorsque les conditions écologiques favorables sont réunies (cf. § I.3.2.2) les oeufs éclosent et libèrent les miracidiums. Ces larves nageantes ciliées ont une durée de vie de 24 heures et voient leur pouvoir infestant diminuer après 6 heures de vie libre. Les miracidiums pénètrent activement chez les mollusques, où ils se multiplient par sporocystogénèse et cercariogénèse pour donner après un mois environ les cercaires (plusieurs milliers à partir d'un miracidium) qui sortent quotidiennement par centaines de l'hôte intermédiaire infesté.

III.1.2- Du mollusque à l'homme

La sortie des cercaires se fait par effraction et selon une chronobiologie connue ; l'émission se produit généralement entre 10 h et 15 h (Théron, 1985). Ces larves infestantes pour l'homme ont une durée de vie limitée à quelques heures et leur pouvoir infestant diminue fortement après 2 heures. Les cercaires nagent grâce à une queue fourchue (furcocercaires) et pénètrent par voie transcutanée chez l'homme, où elles évoluent en schistosomules puis en vers adultes, au cours d'une longue phase de migration d'une durée de deux mois, qui conduit les parasites aux poumons, au cœur et enfin au foie. A ce niveau, les vers acquièrent leur maturité sexuelle et s'apparient. Ces vers sont longs de 10 à 14 mm lorsqu'ils sont adultes de sexe masculin et de 16 à 20 mm quand ils sont adultes de sexe féminin (Bourrée, 1991 ; Larivière, 1993). La femelle se loge dans le canal gynécophore du mâle. Les couples ainsi formés migrent à contre-courant du foie vers les veines mésentériques, où a lieu la reproduction sexuée. La femelle de *S. mansoni* pond quotidiennement 150 à 200 œufs au niveau de la paroi intestinale (Gentilini *et al.*, 1993). L'éperon latéral intervient dans la perforation de l'endothélium par les œufs, qui traversent la paroi et sont évacués avec les selles.

III.2- L'eau, environnement de la transmission

Les trois acteurs (parasite, mollusque, homme) du cycle de transmission ont une sensibilité plus ou moins importante à l'égard des facteurs de l'environnement parmi lesquels il est possible de distinguer deux groupes :

- les facteurs «écologiques» qui ont surtout une influence sur l'hôte intermédiaire et sur l'agent pathogène dans ses stades libres et chez le mollusque ;
- les facteurs «anthropiques» d'ordres social, culturel, économique, comportemental et politique, qui influencent les contacts homme-eau, les modifications et aménagements des milieux hydriques.

La variabilité et l'extension de ces facteurs expliquent les disparités spatiales et temporelles de la maladie. L'analyse de l'environnement est donc indispensable à la compréhension de la transmission de cette endémie.

III.2.1- L'eau, milieu du mollusque hôte intermédiaire

L'eau est tout d'abord le milieu de vie de l'hôte intermédiaire obligatoire. Ses caractéristiques (régime hydrologique, débit, température, éclairement, turbidité...) doivent répondre aux exigences écologiques des *Biomphalaria* impliqués dans la transmission de *S. mansoni*.

A Madagascar il existe une seule espèce de ce genre, *B. pfeifferi*, hôte intermédiaire exclusif de *S. mansoni*. Cette espèce, identifiée définitivement par Brygoo et Capron (1959), a longtemps été désignée sous les noms de *B. madagascariensis* (Smith, 1882) ou de *Planorbis madagascariensis*.

B. pfeifferi (photo 1.1) se caractérise par une coquille aplatie non operculée, de couleur brune, de forme discoïde à spirales. Il mesure de 1 à 10 mm de diamètre.



**Photo 1.1 : *B. pfeifferi* récoltés à Ampandratokana
(vallée d'Ithosy, Madagascar) (cliché M. Fortmann, janvier 2001)**

Les exigences bio-écologiques de cette espèce, présente à Madagascar et en Afrique, sont assez bien connues. *B. pfeifferi* ne se développe que dans les milieux hydriques pérennes. Dans sa synthèse bibliographique sur les facteurs abiotiques influençant la distribution et le cycle des mollusques hôtes intermédiaires des schistosomes, Appleton (1978) a suggéré que la température de l'eau était le facteur le plus important dans les biotopes stagnants et calmes et que la vitesse du courant était le paramètre prépondérant à prendre en compte dans les biotopes « courants ». Les mollusques hôtes intermédiaires de la schistosome intestinale semblent jouir d'une tolérance considérable vis-à-vis des variations de température de leur habitat. De manière générale, la température optimale se situe entre 22°C et 26°C, le seuil minimum favorable avoisine 18°C et le maximum 32°C (WHO, 1957).

Il existe cependant des différences selon le genre et l'espèce en ce qui concerne les seuils minimum et maximum des températures favorables au développement (reproduction, croissance), des températures létales et la durée de résistance à ces températures.

Concernant la survie, Sturrock (1965, 1966) a déterminé en laboratoire que la température maximale limite tolérée par *B. pfeifferi* se situe entre 30 et 35°C et que le taux de croissance approche zéro quand la température se situe entre 32 et 33°C. Il suggère que la température optimale avoisine les 25°C. Brygoo (1967) indique que les mollusques adultes sont incapables de survivre à une seule pointe de température de 35°C pendant deux heures. Quant aux valeurs minimales « en général, il apparaît que les mollusques hôtes intermédiaires sont moins sensibles aux basses températures

qu'aux températures élevées » (Abdel Malek, 1958). Le mollusque *B. pfeifferi* supporte des températures minimales très basses, pouvant être proches de 0°C (OMS, 1957).

Le seuil de température entraînant une nette diminution de la reproduction de l'espèce a été fixé à 28°C (Appleton, 1977). A 29°C aucun œuf de mollusque ne peut être produit (Appleton, 1977). Par ailleurs, il semble que le seuil minimal favorable avoisine les 18°C, seuil en dessous duquel la reproduction des mollusques est impossible (Larivière, 1993).

Diverses études ont montré que les facteurs affectant la distribution locale ou le microhabitat (Utzinger & Tanner, 2000) des mollusques sont multiples (Brown, 1994). Le microhabitat est une section ou un secteur de taille réduite qui présente des caractéristiques écologiques spécifiques, correspondant aux exigences du mollusque. De Graaf & Bain (1986) ont précisé 3 variables « universelles » du microhabitat : la profondeur, la vitesse du courant et la composition du substratum. *B. pfeifferi* est sensible à des facteurs physiques (pluviosité, températures, vitesse et profondeur de l'eau, pérennité du milieu aquatique, turbidité), chimiques (éléments dissous dans l'eau : calcium, sodium, chlorure, magnésium ; pH) et biologiques (présence de végétation sur les berges influant sur le niveau de luminosité, plantes aquatiques sources de nourriture, prédateurs, compétiteurs comme *Lymnea natalensis* (Baluku & Loreau, 1989)).

Les microhabitats de *B. pfeifferi* se situent généralement dans des eaux peu profondes, rarement au-delà de 1,5 m à 2 m de profondeur (WHO, 1957), stagnantes ou à faible vitesse d'écoulement, inférieure à 0,3 m/s (WHO, 1957 ; Watson, 1957 ; Appleton, 1975). Selon Utzinger & Tanner (2000), en Tanzanie, *B. pfeifferi* semble privilégier dans les cours d'eau, les micro-habitats caractérisés par une faible profondeur (moins de 8 cm) et une vitesse d'écoulement relativement faible (entre 0,12 et 0,21 m/s). En revanche, la nature du substratum ne semble pas influencer leur présence. Ces mollusques privilégient des eaux riches en matière organique et comportant une végétation aquatique qui leur sert de support et de nourriture (Gentilini *et al.*, 1993). Les plantes aquatiques mais aussi celles situées sur les berges de la collection d'eau fournissent un abri contre une insolation intense, permettant de créer des habitats ombragés que les mollusques semblent préférer (WHO, 1957).

La teneur en minéraux exerce un effet marqué lorsqu'on approche des concentrations limites. Litalien & Deschiens (1954) et Harrison (1966) ont montré qu'une concentration importante en bicarbonates (406 mg/l de CaCO₃) diminuait la fécondité des mollusques. Schutte & Franck (1964) ont constaté en Afrique du Sud et au Swaziland que *B. pfeifferi* était surtout présent dans des eaux "dures" dont le rapport

sodium/calcium est entre 0,5 et 2,0 et qu'un rapport supérieur à 2,4 affectait ses densités. Il préfère un milieu dont les concentrations en calcium sont supérieures à 5mg/l (Williams, 1970). Les observations faites sur le terrain et en laboratoire indiquent, presque sans exception, que ces mollusques tolèrent une gamme de pH allant de 6 à 9 (Abdel Malek, 1958).

Les conditions thermiques et les milieux hydriques « calmes » expliqueraient la distribution des mollusques hôtes intermédiaires de *S. mansoni* dans la partie centrale, dans une partie du Sud et à l'est de Madagascar, couvrant des milieux géographiques où les températures sont relativement peu élevées⁵ et où les milieux hydriques sont souvent pérennes.

III.2.2- L'eau, milieu de la transmission parasitaire

Le milieu d'eau douce constitue l'environnement de la transmission, à condition qu'il soit propice à l'hôte intermédiaire et au parasite et que l'homme, par ses contacts, y introduise l'agent pathogène et s'infeste.

Les exigences écologiques du parasite, en terme de seuils thermiques, sont proches de celles de son hôte intermédiaire obligatoire. La température de l'eau influence les passages libres du parasite entre l'hôte intermédiaire et l'hôte définitif. Selon Doumenge & Reaud-Thomas (1988), les œufs ne peuvent éclore que dans une eau relativement chaude (25 à 30°C). Dans une étude en laboratoire concernant les effets de la température sur l'éclosion des œufs de *S. mansoni*, Standen (1951) a montré que le maintien d'une température à 28°C favorisait le déroulement de l'éclosion.

La température influence également l'émission des cercaires hors de l'hôte intermédiaire.

III.2.3- L'eau, ressource pour les populations humaines

Les contacts à l'eau sont influencés par différents facteurs anthropiques :

- l'importance des activités et des comportements induisant un contact avec les milieux hydriques en l'absence de système d'adduction d'eau et

⁵ Selon Brygoo (1967), la ligne isotherme annuelle (moyenne des maxima) des 28°C laisse toutes les localisations infectées par *S. haematobium* dans la zone des températures supérieures, tandis que la ligne isotherme annuelle des 18°C englobe la presque totalité de la zone à *S. mansoni* dans le secteur des températures inférieures.

d'équipements. Dans les pays en voie de développement, les collections d'eau constituent à la fois des ressources (collecte d'eau pour la consommation et les besoins domestiques (cuisine, vaisselle...), irrigation des rizières et arrosage des cultures) et des espaces fréquentés pour les activités domestiques et hydro-agricoles (toilette, lessive, pêche, passages à gué) et ludiques (baignade) ;

- les modes de gestion des ressources hydriques, à savoir les modes de fonctionnement des retenues ou barrages (période d'ouverture des vannes, exutoire), les interruptions de mise en eau (fermeture de barrages, assèchement de canaux) et les pratiques de nettoyage des canaux et drains, mais aussi le développement de milieux hydriques aménagés (puits et puisards).

Amat-Roze (1998) décrit l'espace aquatique comme « une aire de jeu rafraîchissante pour les enfants, un lieu de toilette pour la communauté villageoise, une ressource en eau pour les consommations et besoins domestiques, un lieu de travail pour les pêcheurs, les riziculteurs », où les hommes peuvent être parasités si le milieu hydrique héberge des mollusques infestés

IV- L'intérêt d'une approche géographique de la transmission des schistosomes

Au XIX^{ème} siècle le développement des sciences de la nature et de la cartographie ont fait accéder la géographie à un autre niveau de description de la surface de la terre. Au-delà de la classification analytique, la géographie s'est efforcée de saisir les ensembles, les solidarités entre les composants. Humboldt, Vidal de la Blache et bien d'autres géographes ont alors eu le sentiment d'atteindre une connaissance « ne séparant pas ce que la nature rassemble » (Pinchemel, 1994). Cette approche globalisante qui a pris naissance dans la géographie classique montre encore actuellement tout son intérêt dans les problématiques environnementales. Celle sur le thème environnement-santé en offre un exemple tout à fait intéressant. Le géographe peut percevoir dans l'examen d'une situation pathologique la manifestation d'un déséquilibre entre une population et son environnement⁶. Il peut, de ce fait, participer à la compréhension du processus de propagation de la maladie par l'évaluation de l'environnement de sa transmission. Il s'avère plus qu'un informateur : c'est un partenaire.

⁶ l'environnement est défini en géographie comme un milieu biophysique aménagé, transformé par les sociétés.

IV.1- Géographie médicale, géographie et maladies

Parti d'une vision globale de l'homme et de ses relations avec le milieu (sous-entendu naturel), Sorre (1943) est le premier géographe français à intégrer, dans son concept phare de complexe pathogène⁷, l'écologie⁸ telle que la pratiquent les spécialistes des sciences de la vie. Ce concept témoigne d'un rapprochement précurseur avec les épidémiologistes et les biologistes. Taxé d'un déterminisme excessif en raison de sa restriction aux maladies infectieuses et aux seuls facteurs naturels de la maladie (Picheral, 1983 ; Remy, 1985), ce concept est supplanté dans les années 1980 par celui de système pathogène (Picheral, 1983). Ce concept permet de rendre compte des variations spatiales, temporelles et sociales de pathologies apparaissant comme résolument liées à l'environnement, construction sociale, résultante des volontés successives d'aménagement du territoire et non pas synonyme de "milieu naturel" (Handschumacher *et al.*, 2003). L'exemple de l'implantation et du développement épidémique depuis 1988 de la schistosomose intestinale à Richard-Toll (Sénégal) montre que les modifications de l'environnement consécutives à des aménagements hydro-agricoles peuvent engendrer des conditions écologiques favorables à l'hôte intermédiaire et intensifier les contacts à l'eau d'une population immigrante infestée (Handschumacher *et al.*, 1998 ; Talla *et al.*, 1990). Il illustre bien en quoi l'étude de la transmission de la schistosomose relève d'une approche globalisante à l'interface environnement-santé.

IV.2- De l'approche géo-systémique à l'évaluation du risque de transmission

Il ne faut pas perdre de vue que même si le développement des parasitoses (paludisme, onchocercose, schistosomoses...) est fortement lié aux conditions du milieu naturel, l'homme, ses pratiques sociales et son environnement sont des éléments majeurs à prendre en compte dans leurs systèmes de transmission. Dans le champ anthropique citons les modes d'occupation de l'espace, les migrations, les comportements, les perceptions de l'espace (à risque ou non) et de la maladie, du besoin

⁷ groupement qui comprend avec l'homme et l'agent causal de la maladie, ses vecteurs et tous les être qui conditionnent ou compromettent leur existence.

⁸ Discipline née au 19^{ème} siècle (Haeckel, 1866) qui étudie les interactions entre les organismes vivants (faune et flore) et leur milieu, et entre eux, dans les conditions naturelles (Frontier & Pochod-Viale, 1995)

et de l'offre de soins (Amat-Roze, 2004). Pratiques agricoles, comportements pastoraux, migrations et aménagement du territoire, non seulement forgent des paysages divers, mais déterminent l'intensité et la fréquence des contacts homme-agent pathogène et par là le niveau d'endémie d'une maladie dans une société donnée.

Développer une analyse géographique de la transmission des schistosomoses nécessite d'analyser les relations entre l'homme et le géosystème⁹, désigné par Veyret (1999) sous le terme de géo-environnement¹⁰, dans un cadre spatio-temporel et en terme de système¹¹. Le cycle de la transmission est un système spatial localisé, nécessitant un support hydrique qui présente des caractéristiques environnementales favorables à la mise en présence des différents acteurs. C'est également un système qui évolue dans le temps, considéré à différentes échelles : temps très court, par exemple celui de l'heure du contact de l'homme avec le milieu potentiellement infestant, temps plus long, celui des saisons, ou encore plus long, celui de la société c'est-à-dire l'histoire. C'est donc une multitude d'informations que le géographe doit croiser pour délimiter les espaces et les périodes de transmission. Etant donné que les schistosomoses sont connues pour leur variabilité spatiale et leur distribution fragmentée (Brillet, 1998, 2000), il est nécessaire d'étudier la dynamique de transmission à des échelles fines ; le plus souvent c'est celle du terroir villageois qui est adoptée car elle rend compte en grande partie des relations homme-eau.

Pour Veyret (2004), analyser l'environnement revient à envisager les ressources que le géosystème offre aux hommes mais aussi les crises et les risques auxquels il les expose.

Evaluer le risque de transmission des schistosomoses implique que l'on détermine des indicateurs de risque qui, sans permettre forcément de déboucher sur des méthodes toutes faites, montrent le rôle majeur joué par certains facteurs de risque ou combinaison de ces facteurs dans l'évolution des systèmes de transmission.

Selon Grisorio *et al.* (2005), globalement, le risque de transmission de la bilharziose est défini comme le produit du risque d'infestation (du milieu à l'homme) par le risque de contamination (de l'homme au milieu).

⁹ le géosystème est formé par l'interaction de la biosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère, la lithosphère et la pédosphère qui peuvent subir des interventions anthropiques. (Veyret, 2004).

¹⁰ Le géo-environnement désigne les relations d'interdépendance qui existe entre l'homme, les sociétés et les composantes bio-physico-chimiques du milieu, en intégrant aussi ses aspects économiques, sociaux et culturels (Veyret, 2004).

¹¹ Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique constituant une entité, une unité globale avec une limite (De Rosnay, 1975).

Evaluer le risque de transmission implique également que l'on cherche les lieux de contact homme / parasite à l'intérieur d'aires potentielles, définies par la distribution des hôtes intermédiaires. Ceci permet à travers l'analyse des paysages anthropisés, l'identification des réels espaces de diffusion de la maladie, c'est-à-dire de ses aires fonctionnelles (Handschumacher, 2003 ; Handschumacher & Hervouët, 2004 ; Grisorio, 2004). Ces dernières, aussi appelées territoires à risque ou espaces pathogènes (Picheral, 1996) sont la projection spatiale du risque bilharzien, qui comme tout risque est le croisement d'un aléa et d'une vulnérabilité.

"L'aléa est censé représenter le danger, le groupe de facteurs implicitement ou explicitement actifs du dommage effectif ou potentiel, plus ou moins extérieur aux peuplements concernés" (D'Ercole, 1994). L'aléa du risque bilharzien est lié à la présence ou non du parasite, mais aussi de l'ensemble des conditions écologiques et environnementales qui conditionnent le fonctionnement du cycle de transmission. Il est caractérisé par un niveau d'intensité ainsi qu'une inscription spatiale et temporelle (Grisorio, 2004). Mais pour qu'un risque existe, il est nécessaire que l'aléa se manifeste sur un espace occupé par l'homme marqué par une certaine vulnérabilité.

La vulnérabilité selon D'Ercole (1994) est la "propension d'une société donnée à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique". Dans le cas des bilharzioses, la vulnérabilité dépend des modalités (lieu, moment, durée, niveau d'immersion) des contacts à l'eau des individus lors de leur activités, des équipements sanitaires, de la présence ou l'absence d'aménagements pouvant avoir des conséquences nuisibles et/ou bénéfiques au niveau sanitaire. Elle doit donc être considérée à différentes échelles spatiales et temporelles.

Réaliser une analyse géographique de l'environnement de la transmission des schistosomoses permet donc aussi d'aborder les facteurs et les espaces du risque.

Plusieurs études ont porté sur la relation de facteurs environnementaux (climatiques, végétaux, hydrographiques) avec des données épidémiologiques en utilisant des Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour définir des indicateurs de risque (Bavia *et al.*, 1999 ; Malone *et al.*, 1994 ; 2001). Mais elles ne prenaient pas en compte tous les facteurs intervenant dans le système de transmission et se plaçaient à de petites échelles (régionale ou nationale), souvent inadaptées.

A Madagascar, une approche écogéographique du système de transmission de la schistosomose uro-génitale a été réalisée par Grisorio (2004) dans le Menabe (centre-Ouest). Elle a été développée à une échelle plus précise, celle du terroir villageois et de ses environs, et a pris en compte différents facteurs environnementaux influençant la transmission, tels que les milieux hydriques favorables aux mollusques hôtes

intermédiaires, les activités conduisant les hommes à fréquenter ces milieux, la méconnaissance de la maladie...

Dans son étude, l'auteur a pu définir les espaces de l'aléa qui sont les mares temporaires, seuls milieux hydriques où le mollusque hôte intermédiaire *Bulinus obtusispira* a été trouvé. L'aléa a une occurrence temporelle saisonnière qui correspond à la durée de mise en eau des mares, de l'entrée en saison des pluies en décembre à l'assèchement en mai-juin.

Cet auteur a également montré que la vulnérabilité de l'homme, déterminée par le niveau de fréquentation des mares temporaires, se révèle influencée par leur caractère attractif (lieu sacré, ressources en périphérie) et par une méconnaissance de la maladie. Il a par ailleurs mis en évidence la relation paradoxale entre des activités sans lien direct avec l'eau (gardienage du bétail, cueillette de fruits, ...), qui conduisent les populations près des mares, et la transmission de la schistosomose uro-génitale, intervenant par le biais de la baignade récréative fréquemment associée à ces activités. Un des résultats les plus marquants concerne la mobilité de proximité, à l'origine d'une possible propagation de la maladie en relation avec les déplacements courants (visite, marché) qui affectent différemment les ethnies autochtones et allochtones.

L'auteur a créé un indice individuel d'exposition au risque d'infestation (IT), qui correspond à la somme des risques liés à chaque activité près des mares temporaires. Chacun de ces risques est exprimé en combinant un indice d'aléa / bulin (IB), relatif à la probabilité de fréquenter des mares hébergeant le bulin hôte intermédiaire dans la zone considérée (terroirs et ensembles de mares hors-terroirs), et un indice de vulnérabilité (IV) prenant en compte la fréquentation relative (par rapport aux autres biotopes aquatiques), la répétition et la période horaire du contact à l'eau. Mais l'indice IT n'a pas pu être associé positivement avec les résultats parasitologiques observés pour *S. haematobium*, exprimés en termes de prévalence et de charge parasitaire (oviurie : quantité d'œufs pour 10 ml d'urine avant filtration).

Nous reviendrons sur cette analyse du risque de transmission de la schistosomose uro-génitale à Madagascar, à la lecture de nos propres résultats sur la schistosomose intestinale, à la fin de cette étude.

Les schistosomoses sont des maladies parasitaires très développées (200 millions d'individus infestés) dans les pays en voie de développement, que l'homme peut contracter lors de contacts, multipliés en l'absence d'assainissement et de mesures d'hygiène, avec un milieu d'eau douce infesté par le parasite. Mais le maintien du cycle évolutif nécessite également que l'homme introduise régulièrement le parasite dans le milieu hydrique. L'eau constitue l'environnement de transmission qui doit être étudié de manière globale, par rapport aux exigences écologiques de l'hôte intermédiaire et par rapport aux besoins et aux utilisations de l'homme. De ce fait, la transmission des schistosomoses est inscrite dans un système société-environnement-santé et constitue une problématique géographique intéressante.

Considérée comme un véritable champ de synthèse entre sciences de la nature et sciences humaines, la géographie a la capacité de développer, à travers ses différentes dimensions, des approches transdisciplinaires englobant des champs scientifiques à première vue très éloignés tels que la biologie et la médecine.

Développer une analyse de la géographie de la transmission des schistosomoses permet de déterminer des territoires, des populations à risque qui constituent de réels apports en terme de développement, au vu des maux et préjudices qu'une maladie comme la bilharziose peut occasionner.

Notre étude, basée sur une approche écogéographique de la transmission de la schistosomose intestinale dans le sud des Hautes Terres malgaches que nous présenterons dans le chapitre suivant, peut apporter des connaissances nouvelles pour améliorer les programmes de contrôle (problèmes des réinfestations, sensibilisation des populations sur les biotypes à risque...). Elle s'inscrit dans le cadre de la recherche-développement, qui est la véritable vocation d'instituts de recherche comme l'IRD.

-CHAPITRE 2-

LA SOUS-PREFECTURE D'IHOSY :

CADRE GEOGRAPHIQUE ET

ETAT DES CONNAISSANCES

SUR LA SCHISTOSOMOSE INTESTINALE

Le cadre géographique de nos recherches se positionne au cœur de la sous-préfecture ou District (*fivondronana*) d'Ihosy (carte 2.1), située à 600 km au sud d'Antananarivo entre les latitudes 22°00' et 23°27' Sud et les longitudes 45°00' et 47°00' Est. Cette sous-préfecture couvre une superficie d'environ 20 611 km², soit 4% de la superficie du territoire national, et fait partie de la province (*faritany*) de Fianarantsoa. Sa limite nord est constituée par la rivière Zomandao, tandis que sa limite sud est proche du tracé de la rivière Ilanana (carte 2.1). A l'Est et à l'Ouest, les limites sont géomorphologiques puisqu'elles correspondent respectivement aux contreforts du massif granitique de l'Andringitra et au massif gréseux de l'Isalo, dont une partie se trouve dans la sous-préfecture. L'homogénéité apparente du milieu que l'on perçoit comme de vastes étendues peu peuplées n'exclut pas des nuances tant sur le plan physique que sur le plan humain. La région est en effet composite aussi bien par son milieu naturel changeant que par son anthropisation hétérogène, traduisant bien la variété des modes de mise en valeur par des populations autochtones et migrantes et la nécessité d'une certaine adaptation aux conditions locales.

Dans ce chapitre, nous présenterons les caractéristiques géographiques de la sous-préfecture d'Ihosy, avant de nous intéresser à l'historique des recherches sur la schistosomose intestinale dans cette zone très touchée, en insistant sur les résultats récents issus d'une approche associant des recherches biologiques, médicales et géographiques.

I- Présentation du cadre géographique de l'étude : la sous-préfecture (*fivondronana*) d'Ihosy

I.1- Un milieu naturel ouvert

La sous-préfecture d'Ihosy marque la limite entre la partie méridionale des Hautes Terres et le Sud. Le large couloir central formé par la plaine de Zomandao et les dépressions d'Ihosy-Ranotsara (carte 2.1 et photo 2.1) se prolonge vers le Sud-Ouest par le plateau de l'Horombe¹ (PNUD, 1991).



**Photo 2.1 : Vallée d'Ihosy et seuil de Bemandresy (photo prise vers le Nord)
(cliché M. Fortmann, 2001)**

¹ Terme qui vient du malgache *horo be* qui signifie la grande herbe, la grande savane (Petit, 1998)

I.1.1- Contexte géomorphologique

Sur le plan géologique, la région se situe à la limite est du socle cristallin et à la frontière avec le domaine sédimentaire à l'Ouest. Ce paysage a priori homogène est en fait composite et bien compartimenté.

Trois grands ensembles géomorphologiques composent la zone d'Ouest en Est (PNUD, 1991) ; le plateau de l'Horombe, la vallée d'Ihosal et la plaine de Ranotsara.

I.1.1.1- Le plateau de l'Horombe

Le plateau de l'Horombe (carte 2.1) s'étend sur une superficie de 3500 km² et constitue une vaste pénéplaine d'une altitude moyenne de 950 – 1000 m, avec une légère inclinaison NE-SO. Il est bordé à l'Est par la vallée d'Ihosal et à l'Ouest par le massif gréseux de l'Isalo (Salomon, 1987). Ses limites septentrionales et méridionales sont constituées respectivement par les alignements granitiques d'orientation Nord-Sud au nord de Satrokala et le bassin de la rivière Mangoky (Morat, 1969a et 1969b). Sur le plan géomorphologique il correspond à une ancienne surface mésotertiaire reprise sur le pourtour par l'érosion (Petit, 1998). Il est entaillé dans un gneiss granitoïde relativement tendre du système Androyen (socle cristallin), mais des inselbergs, affleurements granitiques de faible hauteur, émergent en certains points. La majeure partie de la superficie du plateau de l'Horombe est recouverte de sols ferrallitiques (terres rouges selon Besairie, 1934) indurés sous forme de cuirasse ou non (photo 2.2), colluvionés ou appauvris, « jaune sur rouge » (Bourgeat, in Morat, 1969a). Outre ces sols ferrallitiques, des sols hydromorphes sont également présents sur le plateau, principalement dans la zone centrale et en position topographique basse, en dessous du niveau de la cuirasse. Ces sols ont un horizon noir de surface à structure grumeleuse et un horizon de gley (horizon réduit de couleur gris-vert liée à la présence de sels mixtes ferreux-ferriques), du à la présence de la nappe à faible profondeur.



Photo 2.2 : Plateau de l'Horombe en saison sèche
(cliché M. Fortmann, 2001)

I.1.1.2- La vallée d'Ihosy

Le fossé tectonique d'Ihosy est un immense couloir d'une altitude moyenne de 700 m (carte 2.1 et photo 2.1), à pente insignifiante de l'ordre de 1‰, orientée Nord-Sud, long de 210 km jusqu'à la confluence de la rivière Ihosy avec le fleuve Zomandao au Nord. La largeur moyenne est de 5 à 7 km, atteignant toutefois une vingtaine de kilomètres au nord de la ville d'Ihosy. Ce couloir est séparé à l'Est de la plaine de Ranotsara par le seuil de Bemandresy (720 m) et délimité à l'Ouest par un escarpement majeur constituant le rebord oriental du plateau de l'Horombe. Cette vallée, incisée dans les formations schisteuses cristallines, est recouverte dans sa partie centrale de formations alluviales anciennes et récentes (sables, argiles et autres sédiments d'altération) qui donnent des sols très faiblement acides de couleur brune assez claire, tandis que ses versants sont constitués de hauts glaucis à gneiss, leptynites (avec ou sans grenats) et schistes cristallins ayant conservé des bancs de quartz (Petit, 1998).

I.1.1.3- La plaine de Ranotsara

La plaine de Ranotsara, qui est un véritable seuil entre la chaîne de l'Andringitra au Nord et les Hautes Terres *Bara*² au Sud, s'étire sur plus de 90 km pour 5 à 30 km de largeur. Ce seuil est le résultat d'un effondrement tectonique, datant de l'Archéen, par le jeu d'un réseau d'anciennes failles qui séparaient le système androyen au Sud de celui du graphite au Nord. La bordure est de la plaine correspondrait à une série de horsts du fait de la conjugaison de failles de direction NO-SE et d'un important réseau de fractures d'orientation NE-SO plus ancien, tandis que la bordure ouest coïncide avec une ligne de fracture franche. Ce fossé a subi par la suite un remblaiement fluvio-lacustre généralisé, mais qui a été déblayé en certains endroits au profit d'alluvions modernes (Petit, 1998). Sur le plan géologique, la plaine de Ranotsara, comme la vallée d'Ihosy, est un véritable fossé à comblement sédimentaire unissant les Hautes Terres orientales relevant du domaine du graphite et les vastes espaces de l'Ouest.

I.1.2- Caractéristiques climatiques

Le climat dans la région d'Ihosy relève selon Dufournet (1972) du « domaine tropical semi-humide chaud de basse et moyenne altitudes », dont nous présentons ci-dessous les caractéristiques pluviométriques et thermiques.

I.1.2.1- Les précipitations

Nous donnons au tableau 2.1 les précipitations moyennes (période 1961-1990) mensuelles calculées pour trois stations situées dans la région d'Ihosy (Direction de la Météorologie et de l'hydrologie de Madagascar). Les données climatologiques sur le plateau de l'Horombe sont rares ; une station météorologique, la ferme de Kelivondraka, située sur la bordure est du plateau, a été en service toutefois de 1961 à 1990. La station météorologique de Ranohira située à l'Est du plateau de l'Horombe est très excentrée par rapport à notre domaine d'étude.

² Bara est un terme malgache qui désigne un territoire et l'ethnie qui l'occupe (cf. I.2.1.1)

Stations	Position			Période												Total annuel
	Longitude E	Latitude S	Altitude (m)	Sèche					Pluvieuse							
				Mai	Juin	Jl	Août	S	O	N	D	J	F	M	Avr	
Ihosi	46°07'	22°23'	730	14,3	6,4	4,3	4,6	11,2	44,3	98,5	188,7	180,4	172,1	75,0	28,9	828,7
Kelivondraka	46°00'	22°26'	1075	11,1	4,4	8,1	5,2	9,9	40,6	99,4	174,8	205,1	181,1	96,8	31,0	867,5
Ranohira	45°24'	22°33'	823	19,0	4,1	4,6	5,6	13,8	55,3	106,0	227,7	218,4	182,4	118,7	33,7	989,3

Tableau 2.1 : Précipitations moyennes (1961-1990) mensuelles et annuelles (en mm) de 3 stations météorologiques de la région d'Ihosi (Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar)

Les totaux annuels observés varient entre 800 et 1000 mm seulement, sensiblement inférieurs aux cumuls pluviométriques des Hautes Terres (1350 mm par exemple à Antananarivo). Cette diminution de la pluviosité dans la région d'Ihosi « est en rapport avec l'ensellement de la dorsale faîtière orientale de la dépression de Ranotsara » et « l'irrégularité jointe à un affaiblissement des totaux annuels est déjà un signe avant-coureur du climat du Sud » (Donque, 1975).

Les totaux annuels indiquent également une croissance des précipitations entre la vallée d'Ihosi et la bordure orientale du plateau de l'Horombe qui s'explique par une augmentation de l'altitude et de l'exposition aux masses d'air des alizés (Ihosi est encaissé et en position d'abri). Cependant, il convient de considérer ces moyennes avec prudence du fait de l'extrême irrégularité interannuelle de la pluviosité.

L'analyse de la répartition des précipitations au cours de l'année permet d'identifier deux périodes :

- l'une pluvieuse, d'octobre à avril, qui concentre plus de 90% du cumul annuel ; les mois de décembre et janvier sont partout les mois les plus arrosés ;
- l'autre au contraire remarquablement sèche, de mai à septembre ; les minima sont obtenus en juillet et en août pour les deux stations d'Ihosi et de Ranohira et en juin et juillet pour Kelivondraka.

Les précipitations importantes durant la saison humide se font essentiellement sous deux formes : violents et brefs orages ou pluies plus ou moins intenses et longues, notamment au passage de cyclones ou tempêtes tropicales.

I.1.2.2- Les températures

Nous donnons dans le tableau 2.2 les températures moyennes mensuelles (Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar) calculées sur 30 ans (1961-1990) à Ihosy et à Ranohira. Les températures n'ont pas été relevées à Kelivondraka.

Stations	Position			Période												Moyenne annuelle	Amplitude thermique annuelle
	Longitude E	Latitude S	Altitude (m)	Fraîche					Chaude								
				Mai	Juin	Jl	Août	S	O	N	D	J	F	M	Avr		
Ihosy	46°07'	22°23'	730	20,3	18,0	17,9	18,7	20,7	22,9	24,1	24,5	24,7	24,5	23,8	22,7	21,9	6,8
Ranohira	45°24'	22°33'	823	19,6	17,5	17,4	18,5	20,8	22,8	23,8	24,0	24,2	24,2	23,5	22,2	21,5	6,8

Tableau 2.2 : Températures moyennes (1961-1990) mensuelles (en °C) de 2 stations de la région d'Ihosy (Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar)

Deux périodes thermiques peuvent être distinguées :

- une période chaude d'octobre à avril avec des températures entre 22,9°C et 24,7°C pour Ihosy et entre 22,2°C et 24,2°C pour Ranohira ;
- une période fraîche de mai à septembre avec des températures entre 17,9°C et 20,7°C pour Ihosy et entre 17,4°C et 20,8°C pour Ranohira.

En combinant les précipitations et les températures, il ressort que le climat de la région d'Ihosy se caractérise par deux saisons bien marquées ; les mois les plus pluvieux et les plus chauds se situent entre octobre et avril, tandis que la saison sèche et fraîche dure de mai à septembre.

I.1.3- Les cours d'eau

I.1.3.1- Un réseau hydrographique dense

Sur le plan hydrographique, la région d'Ihosy présente une configuration particulière puisqu'elle se trouve sur des lignes de partages des eaux majeures et englobe les « têtes de bassins-versants » de plusieurs grands fleuves de Madagascar (carte 2.1).

La rivière Ihosy, qui prend sa source dans le massif d'Antaivondro, est un affluent de la Zomandao, qui appartient au bassin du Mangoky (54 000 km², le plus vaste de l'île) (Chaperon *et al.*, 1993). La rivière Ihosy a de multiples affluents (Mahasoa, Mikaiky, Tsianaloka...). De sa source à la confluence avec la rivière Zomandao, elle mesure 304 km et draine une surface de 3700 km².

Les rivières Ilanana et Ihazofotsy avec ses affluents (Bekinana, Sambay, Sakavatony) drainent le plateau de l'Horombe. Ce sont des affluents, comme le petit Mangoky, de la rivière Imaloto qui appartient au bassin de l'Onilahy (versant ouest de l'île).

La Mananara du Sud qui s'écoule vers le Sud-Est est formée par la réunion de trois affluents principaux (Chaperon *et al.*, 1993) :

- Au Nord la Menaharaka issue de la façade occidentale de l'Andringitra qui s'écoule d'abord vers l'Ouest en direction d'Ihosy puis après le confluent avec la Sahambano, oblique vers le Sud et le Sud-Est dans la plaine de Ranotsara ;
- au Sud l'Ionaivo ;
- à l'Est l'Itomampy.

I.1.3.2- Des régimes hydrologiques marqués

Les facteurs climatiques influencent fortement le régime hydrologique des cours d'eau.

La rivière Ihosy fermée à la station d'Ihosy (1500 km²) a un module moyen de 16 m³/s (période 1952-1976 ; Chaperon *et al.*, 1993).

Elle a un régime simple bien marqué : hautes eaux de décembre à mars avec un maximum en janvier (tableau 2.3) et basses eaux de juin à novembre.

N	D	J	F	M	Avr	Mai	Juin	Jl	Août	S	O	Annuel
5,6	24,9	50,0	42,1	28,3	13,3	7,4	5,8	4,8	4,4	3,3	3,4	16,0

Tableau 2.3 : Débits moyens mensuels et annuel (m³/s) de la rivière Ihosy à la station Ihosy (22°23 S ; 46°07 E ; surface 1500 km²) : période 1952-1976 (Chaperon *et al.*, 1993)

Concernant le bilan hydrologique moyen de ce bassin-versant sur la période 1952-1976, la lame d'eau écoulee moyenne interannuelle (340 mm) correspond à un coefficient d'écoulement de 36 % et, avec une pluviométrie estimée à 935 mm, à un déficit d'écoulement moyen de 595 mm (Chaperon *et al.*, 1993).

Les rivières drainant le plateau de l'Horombe ont un régime simple proche de celui de la rivière Ihosy, avec des débits d'étiage très faibles et des débits de hautes eaux pouvant prendre un caractère torrentiel net. Cependant, aucune étude hydrologique n'a été menée sur ces cours d'eau. On y observe fréquemment durant la saison des pluies des variations journalières importantes du débit, dues aux forts orages tombant en fin de journée sur des bassins-versants ayant une faible couverture végétale. Ce ruissellement entraîne une érosion intense mais permet aussi la formation de dépôts alluvionnaires très fertiles sur les berges, appelés *baiboho* en langue malgache (Morat, 1973).

I.1.4- Un paysage végétal de savane

Le plateau de l'Horombe (photo 2.3) correspond très largement à une savane herbeuse (Morat, 1973).



Photo 2.3 : Savane herbacée du plateau de l'Horombe (cliché M.Fortmann, 2001)

Un premier type de savane est constitué d'un tapis graminéen homogène (photo 2.3), de 60 à 80 cm de haut, constitué d'espèces variées (*Loudetia simplex*, *Heteropogon contortus*, *Aristidia sp.*, *Trachypogon spicatus*) et présentant un degré de recouvrement faible.

Un deuxième type de savane se rencontre sur les colluvions de bas de pente des sols rouges ferrallitiques : les graminées y atteignent parfois 2 m et les espèces (*Hyparrhenia rufa* (*vero* en malgache), *Hyparrhenia dissoluta*) couvrent remarquablement le sol.

Le long des cours d'eau, on trouve des savanes dites marécageuses, qui sont des formations végétales mixtes, composées essentiellement de phanérophytes (*Pandanus ambogensis*, *Pandanus pulcher*, *Medemia nobilis*, *Ravenea rivularis*) et d'un tapis herbacé toujours très dense (*Hyparrhenia rufa*, *Phragmites mauritianus* (*bararata*)), tandis que sur les berges sableuses se développent des *Cyperus sp.* (*erana*, *harefo*).

Cette végétation est en sommeil de mai à novembre et subit des feux de brousse chaque année à la fin du mois d'octobre et au mois de novembre (Morat, 1969a et 1969b). Cette dégradation saisonnière de la végétation est favorable au ruissellement, d'autant qu'elle survient lors des premières pluies.

Dans la vallée d'Ihosal, et de manière moins importante dans la plaine de Ranotsara, le milieu est fortement anthropisé et constitué en grande partie par des terres agricoles. La végétation naturelle est une savane arbustive et l'on trouve des forêts galeries le long des cours d'eau. Aucune recherche précise sur la végétation de la vallée d'Ihosal n'a été menée jusqu'à ce jour à notre connaissance.

Le milieu naturel de la sous-préfecture d'Ihosal est marqué par le contraste saisissant entre les vallées et le plateau de l'Horombe, différents sur bon nombre d'aspects (topographie, conditions climatiques locales, végétation). L'hostilité apparente du milieu naturel n'a cependant pas limité l'action de l'homme.

I.2- Un peuplement multi-ethnique

La population actuelle de la sous-préfecture d'Ihosal est hétérogène sur le plan ethnique du fait des différentes migrations qui se sont produites, en liaison avec diverses contraintes (sécheresse dans le Sud, surpeuplement des Hautes Terres...). Toutefois cette région fait partie du fief de l'ethnie *Bara*, dont la vocation première est l'élevage de bétail (zébus).

I.2.1- Historique

Le peuplement de Madagascar est le résultat d'un brassage de populations d'origines diverses : indonésienne, asiatique, arabe, africaine et indienne. L'histoire de la formation de l'ethnie *Bara* a bien été décrite par Michel (1957) et Elli (1993). Nous ferons donc référence à leur travaux.

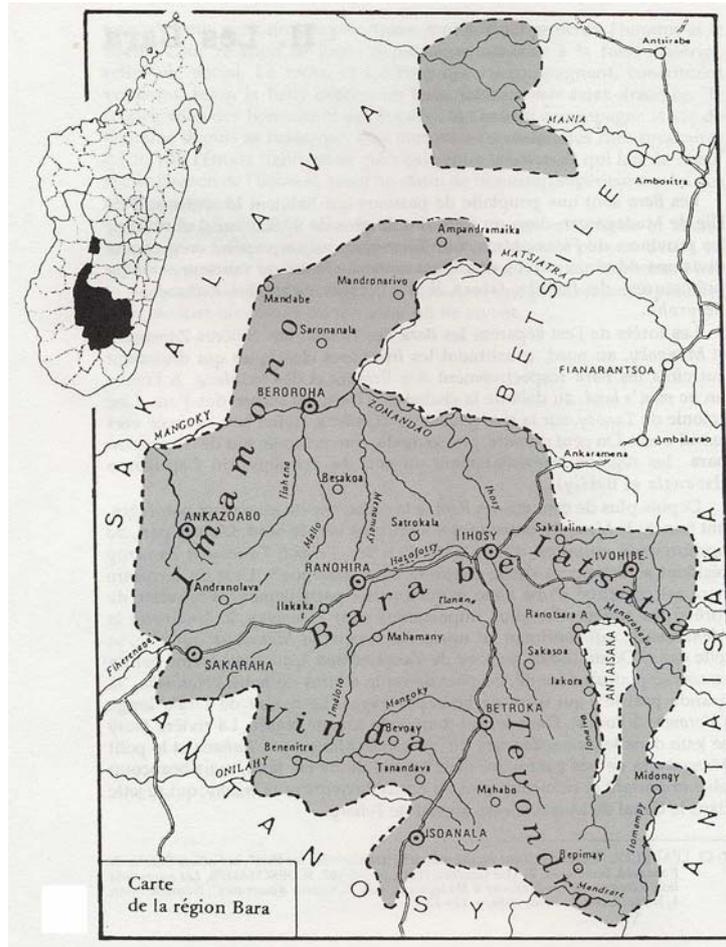
I.2.1.1- Le Pays *Bara*

La sous-préfecture d'Ihosy est incluse sur le plan ethnique dans le pays *Bara* (appelé aussi l'«Ibara»), territoire occupé par un peuple originaire du sud-est de l'Afrique à vocation essentiellement pastorale, vivant sur les vastes étendues des plaines et du plateau de l'Horombe. Le pays *Bara* s'étend sur environ 60 000 km², à cheval sur les provinces de Fianarantsoa et de Tuléar, et recouvre à peu près les sous-préfectures d'Ivohibe, d'Iakora, Betroka, Sakaraha, Ihosy, Ankazoabo et Beroroha.

A l'origine il était formé de quatre royaumes principaux : Bara-Iatsatsa (région d'Ivohibe), Bara-Be (région allant de la vallée d'Ihosy à Ranohira), Bara-Imamono (région d'Ankazoabo), Bara-Vinda (région de Benenitra). Les Bara-Tevondro, dont le dialecte est différent, constituent un autre clan au Sud-Est.

Le nombre des Bara, estimé en 1993, est d'environ 300 000 personnes.

Les *Merina* occupèrent la ville d'Ihosy à partir de 1848 et en firent un chef-lieu jusqu'à l'arrivée des Français en 1895.



Carte 2.2 : Carte de la région Bara (Elli, 1993)

I.2.1.2- Les flux migratoires récents

Outre les *Bara*, des *Betsileo* et des *Merina* (Hautes Terres), des *Antandroy* (Sud), des *Antaisaka* et des *Tanosy* (Sud-Est) se sont installés massivement dans la sous-préfecture d'Ihosy depuis les années 1950 pour y cultiver des terres non exploitées. Plus récemment, la grande sécheresse de 1991 a provoqué une migration massive des *Antandroy* des sous-préfectures d'Ambovombe et de Bekily vers celle d'Ihosy.

« Mais la confrontation avec les migrants a fortement perturbé la maîtrise territoriale de la société *Bara*. Dans les régions confrontées aux migrations, les meilleures terres sont souvent appropriées par des migrants qui peuvent ainsi s'enrichir davantage que les autochtones. De telles situations engendrent des conflits parfois violents dont les vols de bœufs sont l'une des manifestations les plus visibles » (Ranaivoarivelo, 2002).

I.2.2- Situation démographique actuelle de la sous-préfecture d'Ihosy

En 2001, la sous-préfecture d'Ihosy est constituée de 17 communes (*firaisana*) et compte près de 132 000 habitants selon une estimation des autorités administratives locales (tableau 2.4).

<i>Commune (firaisanana)</i>	<i>Estimation de la population en avril 2001</i>
Ihosy	20 212
Ambatolahy	9669
Ambia	4691
Andiolava	6615
Ankily	10 295
Analaliry	3463
Analavoka	5455
Ilakaka	12 795
Irina	5286
Mahasoa	13 663
Menamaty-Iloto	4867
Ranohira	5745
Sahambano	6026
Sakalalina	6858
Satrokala	4586
Soamatasy	3315
Zazafotsy	8357
<i>Sous-préfecture d'Ihosy</i>	131 898

Tableau 2.4: Estimation de la population dans la sous-préfecture d'Ihosy en 2001 (sources : Monographie du *fivondronana* d'Ihosy, 2001)

Lors du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 1993, la sous-préfecture était constituée de 13 communes peuplées par 80 750 habitants (Institut National de la Statistique (INSTAT), 1993). Mais un redécoupage administratif a été effectué, en ajoutant des communes, notamment celle d'Ilakaka qui s'est développée très rapidement à partir de 1997 avec une ruée vers l'exploitation du saphir.

L'estimation de la population en 2001 dans la sous-préfecture d'Ihosal, que l'on doit considérer avec prudence, montre un net accroissement notamment dans la commune d'Ihosal qui passe de 11 964 personnes lors du recensement en 1993 à 20 212 en 2001 (Monographie de la sous-préfecture d'Ihosal, 2001).

La sous-préfecture d'Ihosal a cependant une très faible densité (6 hab/km² en 2001) si on l'a comparé à la densité nationale moyenne (28 hab/km²). Mais les disparités de densités entre les différentes communes sont remarquables. En 2001, la commune d'Ihosal est la plus densément peuplée (3110 hab/km²) du fait de son rôle de chef-lieu urbain. Puis viennent celles de Mahasoala (841) et d'Irina (44) s'expliquant par la présence de nombreux migrants agriculteurs. C'est également le cas de la commune d'Ankily dont la densité n'a pas pu être estimée. La commune d'Ilakaka enregistre également des densités très fortes, mais aucun chiffre précis n'a pu être avancé en raison de la difficulté du recensement des populations très mobiles et de la complexité de la délimitation du territoire communal. Les communes d'Ambia (5,6 hab/km²), d'Analavoka (6,4) de Satrokala (4,7) plus rurales et plus vastes, ont des densités proches de la densité moyenne de la sous-préfecture. Les autres communes ont des densités inférieures à 4 hab/km² (Ranohira : 1,7; Zazafotsy : 3,2) traduisant bien le faible peuplement de ces vastes espaces.

Déjà en 1991, la ville d'Ihosal et sa zone périphérique (sur un rayon de 20 km), formée de sa commune et de celles d'Ankily, Irina, Sahambano et d'une partie de Mahasoala, concentraient la majeure partie de la population. Avec plus de 40 hab/km² (densité comparable à celles observées dans les régions des Hautes Terres), le « bassin d'Ihosal » paraît comme une oasis dans un espace vaste et dépeuplé (PNUD, 1991).

I.2.3- Une économie pastorale en voie de diversification

I.2.3.1- L'élevage extensif : une activité à dimension économique mais aussi culturelle

La sous-préfecture d'Ihosal est considérée depuis toujours, du fait de son cadre naturel, comme le domaine par excellence de l'élevage extensif des bovins. Vastes terrains de parcours, surtout dans le couloir d'Ihosal et sur les plateaux à l'Ouest, saison sèche allongée : autant de facteurs qui ont favorisé cette activité (PNUD, 1991).

Mais plus qu'une activité, c'est une vocation d'ordres à la fois économique et social. Économique, car le bœuf, première source de richesse pour les *Bara* (Elli, 1993), sert aussi au piétinage des rizières. Sociale, car le bœuf accompagne le *Bara* toute sa vie

et est sacrifié lors des baptêmes, mariages, funérailles (...). L'élevage était la vraie occupation noble, réservée aux hommes *Bara*. La chasse, la cueillette, la pêche, l'agriculture servaient d'appoint mais tenaient un rang secondaire (Faublée, 1954).

I.2.3.2- Une diversification des activités agro-pastorales à l'origine d'une transformation du paysage

La recrudescence importante des vols de bétail depuis les années 1970 a obligé une partie des bouviers à abandonner leurs terroirs pour rejoindre des zones plus protégées et à se tourner vers d'autres activités, notamment agricoles.

Les rizicultures irriguée et pluviale traditionnelles se sont ainsi développées dans les plaines alluviales, le long des cours d'eau sur le plateau de l'Horombe, dans des cuvettes fertiles. La riziculture domine actuellement l'agriculture *Bara* (Saint-Sauveur, 1998).

Mais c'est surtout l'arrivée de populations d'ethnies diverses (*Merina, Betsileo, Tanosy...*) qui a contribué à la transformation du paysage économique de la vallée d'Ihosy et des plaines de Ranotsara et du Zomandao, qui sont devenues des greniers à riz, manioc, arachide et maïs pour la région. Les cultures vivrières déjà présentes (patate douce, haricot, canne à sucre, tomate, pomme de terre) se sont développées. La culture du coton était pratiquée dans les communes d'Ihosy et de Mahasoà dans les années 1990, mais le transfert de l'unité d'égrenage en 1986 à Tuléar a entraîné une nette diminution des superficies cultivées dans les années 1990 (PNUD, 1991), jusqu'à l'arrêt complet.

La pêche, bien que pratiquée de manière artisanale, surtout dans les rivières Ihosy, Sahambano, Ioanivo et Ihazofotsy, constitue une source de revenu non négligeable. La vannerie et la réalisation de nattes artisanales (*tsihy*) par les femmes permettent également d'améliorer les revenus familiaux.

Aucune unité industrielle d'envergure n'existe dans la région. La seule activité semi-industrielle est le décorticage du riz, réalisé mécaniquement, dans des petites entreprises (décortiqueries), nombreuses dans la sous-préfecture d'Ihosy.

Le commerce est surtout pratiqué dans les centres urbains par des *Betsileo*, des *Merina* et des Indiens (*Karana*). Il concerne les produits de consommation courante.

L'exploitation du sous-sol et plus particulièrement du saphir s'est développée à partir de 1997 à Ilakaka, entre Ihosy et Ranohira, lorsqu'un gardien de zébus trouva un jour une pierre bleue au bord de la rivière. Plusieurs milliers d'individus s'y rendent

depuis de manière temporaire ou permanente (la taille du village a décuplé en quelques mois), en espérant y trouver fortune.

Enfin, le tourisme s'est un peu développé dans la région, notamment dans les deux parcs nationaux voisins de l'Andringitra et de l'Isalo, visités par plusieurs milliers de personnes par an. Ces parcs sont gérés par l'Association Nationale pour la Gestion des Aires Protégées (ANGAP) créée en 1990 pour sauvegarder la biodiversité à Madagascar.

Mais ces transformations n'ont pu impulser une dynamique sociale et économique dans le milieu rural, où l'on assiste à une paupérisation des paysans (PNUD, 1991 ; PNUD, 2001).

I.3- Accessibilité et équipements

La sous-préfecture d'Ihosy est traversée par la route nationale 7 (RN7), considérée comme l'axe structurant du réseau sur lequel se greffent, à Ihosy, deux autres routes d'intérêt national mais difficilement praticables en saison des pluies (carte 2.1) ; l'une (RN27) est orientée vers l'Est en direction de Farafangana, l'autre (RN13) va vers le Sud en direction d'Ambovombe. L'équipement des axes routiers fait ressortir de nombreuses lacunes (la traversée du plateau de l'Horombe par la RN7 empruntait en 2002 une piste en latérite délicate à pratiquer en saison des pluies). Le reste du réseau routier est constitué de pistes de desserte et de pistes secondaires (entre hameaux et communes) souvent impraticables en saison des pluies. Ces lacunes de communication constituent un obstacle majeur au développement socio-économique de la région.

L'électricité n'est présente que dans les centres urbains et dans les structures touristiques. En milieu rural, le pétrole et le charbon de bois constituent les principales sources d'éclairage, de chauffage et de cuisson.

Les infrastructures du système éducatif nous intéressent tout particulièrement, parce que le milieu scolaire se prête bien aux enquêtes parasitologiques sur les schistosomoses. En matière d'éducation, lors du RGPH de 1993, le taux de scolarisation dans la sous-préfecture d'Ihosy est de 28,8 % dans la classe d'âge 6-14 ans. La commune d'Ihosy affiche cependant un fort taux de scolarisation (71,2%) expliqué par la présence de nombreuses écoles publiques et privées (dont 96 Ecoles Publiques Primaires et 6 établissements secondaires), montrant le déséquilibre de scolarisation entre le milieu urbain et le milieu rural sous-équipé. Dans la sous-préfecture d'Ihosy il n'y a pas de différence significative selon le sexe pour le taux de scolarisation en 1993 (50,6% de garçons, 49,4% de filles).

Le taux d'analphabétisation progresse de manière importante dans la région puisqu'il passe de 48,1% en 1993 à 69,6% en 1999 en relation avec la paupérisation (PNUD, 2001).

II- Apports et limites des connaissances sur la schistosomose intestinale dans la sous-préfecture d'Ihosy

L'identification de la schistosomose intestinale dans la sous-préfecture d'Ihosy remonte aux années 1950. Mais il faut attendre les années 1990 pour voir se développer des études sur la maladie autour d'un programme faisant intervenir conjointement les disciplines bio-médicales et la géographie.

II.1- Les rares données avant 1995

Les premiers cas de schistosomose intestinale à *S. mansoni* dans la sous-préfecture d'Ihosy ont été mis en évidence sur des enfants scolarisés entre 1950 et 1956 (Doumenge *et al.*, 1989). Dans la synthèse de Coulanges (1977), le canton (sous-préfecture) d'Ihosy était également prospecté positif en 1955 mais la prévalence n'avait pas été déterminée.

II.2- Les connaissances récentes

La complémentarité des recherches médicales, biologiques et géographiques dans l'étude des schistosomoses a suscité en 1995 la formation d'un groupe de recherches associant au départ trois institutions dans le cadre du programme RAMSE, pour une meilleure coordination entre les équipes actives à Madagascar (cf. chapitre 1) :

- la DLMT, et en particulier le Laboratoire Central des Bilharzioses ;
- l'IRD, à travers sa structure hébergeant le Programme RAMSE ;
- l'Institut Pasteur de Madagascar, identifié comme collaborateur privilégié de la DLMT et de l'IRD, et en particulier l'unité "Epidémiologie".

En 1997 des chercheurs de l'Université d'Antananarivo (Faculté des Sciences : Département de Biologie Animale) qui collaboraient avec l'équipe de l'IRD ont rejoint le programme.

L'existence de ce groupe a permis de développer des actions de recherches concertées, menées en étroite collaboration et focalisées sur des terrains communs. Ainsi, il a été possible d'évoluer vers une approche pluridisciplinaire des problématiques liées à l'endémie bilharzienne à Madagascar. Des recherches ont notamment été menées dans la sous-préfecture d'Ihosy, caractérisée par un nombre élevé de villages hyperendémiques, justifiant son statut de zone-pilote du programme national de lutte contre les schistosomoses (PNLS) depuis 1998 (cf. chapitre 1). Les objectifs étaient d'apporter des connaissances sur l'écologie de la transmission et d'améliorer les méthodes de détection des foyers hyperendémiques, afin de contribuer à l'élaboration des stratégies de contrôle (traitement par chimiothérapie, sensibilisation).

Ces recherches ont été renforcées de 2000 à 2002, après l'arrêt du Programme RAMSE, à partir d'une approche plus transdisciplinaire que pluridisciplinaire³, dans le cadre du développement du PNLS et d'un projet financé par le gouvernement français (Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie), optimisant les collaborations entre l'Equipe Schistosomoses de l'IRD, la DLMT, l'IPM et l'Université d'Antananarivo. Une approche écocéographique du système de transmission de la schistosomose urinaire dans le Menabe (centre-ouest de Madagascar) a été développée (Grisorio, 2004 ; Grisorio *et al.*, 2005). Et le présent travail sur la schistosomose intestinale est issu d'une démarche similaire.

II.2.1- L'approche épidémiologique

Les recherches médicales menées depuis 1995 par les chercheurs de l'IPM et de la DLMT, en appui au PNLS, portent d'une part sur les procédures d'identification des communautés hyperendémiques et d'autre part sur les stratégies de contrôle (lutte par chimiothérapie et prévention) dans le District d'Ihosy.

Des enquêtes parasitologiques (examen des selles, méthode MIF) ont été menées en 1998, en milieu scolaire, sur 2437 enfants âgés de 5 à 14 ans dans 38 villages (*fokontany*) de la région d'Ihosy (Rabarijaona, 1998 ; Rabarijaona *et al.*, 2003).

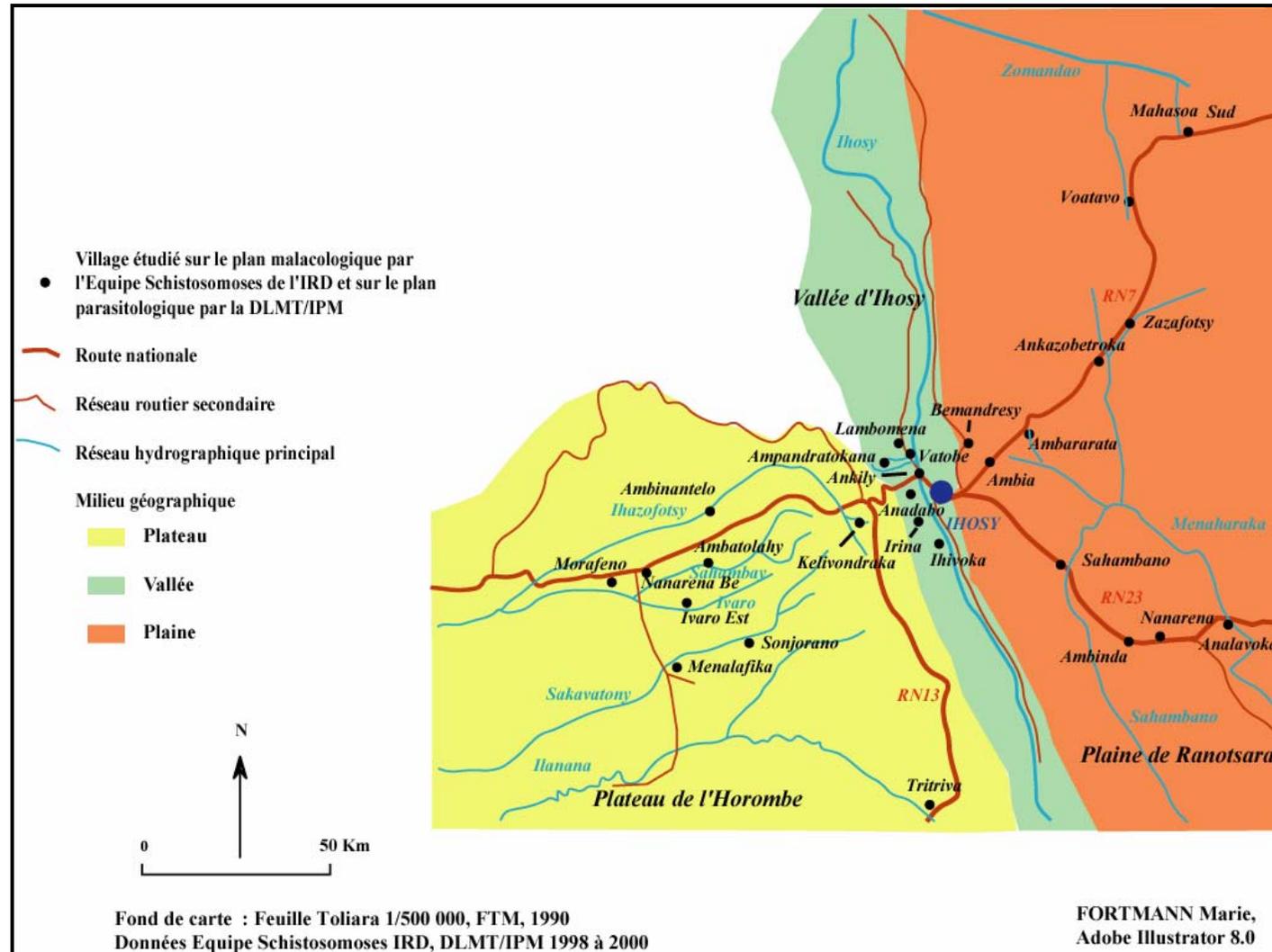
³ L'approche pluridisciplinaire se caractérise par la présence de plusieurs disciplines, la juxtaposition de celles de façon parallèle et sans rapport apparent entre elles. Elle est moins globalisante que l'approche transdisciplinaire.

Nous présentons les résultats de ces enquêtes (tableau 2.5) pour 26 villages qui ont également fait l'objet de prospections malacologiques (cf.§ II.2.2). Ces villages (carte 2.3) sont répartis dans les différents milieux géographiques décrits précédemment (plaine de Ranotsara, vallée d'Ihosal, plateau de l'Horombe).

Milieu géographique	Ecoles	Nb enfants examinés	Prévalence %	Niveau d'endémie
Plaine de Ranotsara	Vatobe	40	10	h
	Nanarena PC	44	22,7	h
	Ambinda	33	24,2	h
	Ambararata Nord	86	39,5	m
	Analavoka	37	40,5	m
	Bemandresy	60	56,6	m
	Ambia	87	66,6	H
	Sahambano	98	86,7	H
	Mahasoa Sud	122	87,7	H
	Voatavo	44	93,2	H
	Ankazobetroka	33	93,9	H
Zazafotsy	96	94,8	H	
Vallée d'Ihosal	Anadabo	59	47,5	m
	Lambomena	64	51,6	m
	Ankily	80	52,5	m
	Ihivoka	78	57,7	m
	Irina EPP	82	71,9	H
	Ampandratokana	63	79,4	H
Plateau de Horombe	Tritiva	70	52,8	m
	Menalafika	58	53,4	m
	Ivaro Est	50	64	H
	Sonjorano	56	67,8	H
	Morafeno	40	70	H
	Ambatolahy	83	73,5	H
	Kelivondraka	37	89,2	H
	Ambinantelo	45	100	H

Tableau 2.5 : Prévalence et niveau d'endémie de la schistosomose intestinale (méthode MIF) chez les enfants âgés de 5 à 14 ans dans 26 écoles de la région d'Ihosal examinés entre avril et juin 1998 (Rabarijaona, 1998 ; Rabarijaona *et al.*, 2003)

(h : hypoendémique, prévalence < 30% ; m : mésoendémique 30<p>60% ; H : hyperendémique, p >60%)



Carte 2.3 : Localisation des villages étudiés sur les plans parasitologique et malacologique (schistosomose à *S. mansoni*) dans la sous-préfecture d'Ihoisy

Les résultats de ces enquêtes mettent en évidence un niveau d'endémicité élevé de la schistosomose intestinale dans la sous-préfecture d'Ihoso, avec une majorité de villages hyperendémiques dans deux des trois milieux géographiques (77% dans la vallée d'Ihoso, 75% sur le plateau de l'Horombe, 50% dans la plaine de Ranotsara).

Suite à l'identification des communautés hyperendémiques, un traitement de masse au praziquantel a été effectué dans la majorité des foyers.

II.2.2- L'approche biologique

Les recherches des biologistes de l'IRD menées dans les 26 villages (carte 2.3) avaient pour but d'apporter des connaissances sur l'écologie de la transmission et plus particulièrement celle de l'hôte intermédiaire.

Les résultats des prospections sur la période 1999-2000 (Brémond *et al.*, 2002) ont permis de mettre en évidence *B. pfeifferi* dans 80% des foyers prospectés, les effectifs les plus élevés ayant été observés dans la vallée d'Ihoso et sur le plateau de l'Horombe. Les mollusques ont été récoltés le plus souvent dans les canaux d'irrigation et dans les lits principaux des rivières (Horombe), particulièrement en période d'étiage. La transmission de *S. mansoni* a été mise en évidence dans 79% des foyers auprès desquels des biotopes positifs à *B. pfeifferi* ont été détectés, y compris des foyers qui ont fait l'objet d'une lutte par chimiothérapie au cours des années précédentes.

Les milieux les plus favorables au développement des populations de *B. pfeifferi* sont apparus comme étant les canaux temporaires, persistants et pérennes, les retenues et les cours d'eau pérennes, tandis que les cours d'eau temporaires, les canaux éphémères (en eau environ 3 mois) et les parcelles rizicoles se sont révélés trop instables pour permettre au mollusque de s'établir (Fortmann *et al.*, 2001 et 2004).

Sur l'ensemble des dix prospections réalisées pendant un an, les dynamiques ont montré des profils variables, avec des populations fluctuantes qui montrent dans les milieux pérennes des effectifs maximums en septembre-octobre et minimums en janvier-février (en moyenne), contrastant avec les populations qui colonisent les canaux temporaires, distribuées de façon irrégulière dans le temps comme dans l'espace.

La détection de *S. mansoni* chez les *B. pfeifferi* survivants après transport (test d'émission cercarienne au laboratoire) a permis de montrer que la transmission a lieu, à l'échelle de la région prospectée, principalement dans les rivières pérennes puis dans les canaux d'irrigation temporaires à permanents, secondairement dans les retenues. Elle apparaît étalée dans le temps, avec un maximum dans les effectifs des mollusques positifs d'août à septembre et un minimum de mars à mai.

Des recherches ont également été entreprises en 1999-2000, afin de déterminer si le rat noir (*Rattus rattus*) peut intervenir en tant qu'hôte réservoir de la maladie. Elles ont fait appel à une approche expérimentale (réussite de l'infestation, flux parasitaire sortant) complétée sur le terrain dans la région d'Ihoso (piégeages de rongeurs et recherche du parasite par dissection). Les résultats expérimentaux ont montré que les parasites se développent chez le rat noir, y pondent des oeufs qui sont excrétés et libèrent des miracidiums infestants pour l'hôte intermédiaire ; mais les populations efficaces du parasite sont de taille réduite et les oeufs excrétés rares et peu viables (faible taux d'éclosion). Les piégeages bimestriels ont permis de mettre en évidence le caractère exceptionnel de l'infestation naturelle du rat noir par *S. mansoni*. Ainsi, *R. rattus* se révèle à Madagascar un mauvais candidat hôte réservoir de la schistosomose intestinale, qu'il n'est pas actuellement nécessaire de prendre en compte dans les stratégies de contrôle sur les Hautes Terres (Brémond *et al.*, 2002).

II.2.3- L'approche géographique

Complémentaire aux recherches biologiques et médicales, une approche géographique a été initiée par I. Jeanne, médecin de l'IPM (1998), dans 14 villages de la région d'Ihoso déjà caractérisés par les épidémiologistes. Elle avait pour objectif de tester un modèle prédictif de prévalence au moyen d'un Système d'Information Géographique (SIG), établi à partir d'analyses spatiales d'images satellitaires et intégrant des données géographiques, épidémiologiques et malacologiques. Les conclusions de l'étude indiquent que « la simple géolocalisation des résultats épidémiologiques permet d'identifier des zones prioritaires ». En 2000, l'étude a été élargie à 37 villages et une interpolation spatiale par SIG a permis de distinguer deux zones de villages potentiellement hyperendémiques et deux zones potentiellement non hyperendémiques et d'identifier des facteurs de risque liés au niveau de prévalence, tels que la proximité à la route nationale et la position des villages sur un bassin-versant. Une actualisation de la cartographie des villages hyperendémiques à traiter en priorité a été réalisée et un modèle prédictif de prévalence a pu être ébauché mais il reste à l'affiner et à le valider par des enquêtes parasitologiques dans les villages de la zone qui n'ont pas encore été prospectés (Jeanne, 2000).

II.3- Une autre approche de la transmission de la schistosomose intestinale dans la sous-préfecture d'Ihosy

II.3.1- Les questions en suspens

La mise en place du PNLIS en 1998 a concentré les recherches dans le District d'Ihosy, retenu comme zone-pilote. Cependant, l'approche géographique ne s'est pas intéressée de près aux facteurs bio-environnementaux à appréhender dans l'optique d'une détection et d'une caractérisation des milieux à risque. Ils sont difficiles à étudier car (1) divers biotopes aquatiques sont susceptibles d'héberger les mollusques hôtes intermédiaires à une saison ou une autre et (2) les comportements humains apparaissent complexes dans les relations avec les milieux en eau.

II.3.2- L'intérêt d'une approche transdisciplinaire

L'étude des conditions environnementales favorables à la transmission parasitaire constitue pour nous une thématique intéressante, où la conduite concomitante de recherches géographiques, biologiques et médicales est un atout de taille. La géographie, par la systémique qu'elle autorise, entre d'une part sa composante physique et la malacologie, et d'autre part sa composante humaine et l'épidémiologie, s'avère avoir une position charnière. Notre recherche s'inscrit dans une double approche géographique de l'influence des facteurs bio-environnementaux sur la transmission de la schistosomose intestinale. Elle s'appuie, dans le District d'Ihosy, à la fois sur l'étude des caractéristiques hydro-morpho-climatiques et sur celle des activités et des comportements humains. Reposant sur une cartographie précise, elle s'associe le plus étroitement possible avec l'approche biomédicale, se plaçant ainsi dans un cadre transdisciplinaire.

Développer des recherches concernant les conditions de développement des mollusques hôtes intermédiaires et celles favorables au déroulement du cycle parasitaire revient à étudier divers phénomènes dont les plus importants pour l'approche géographique sont :

- la variabilité écologique (vitesse, température, physico-chimie) dans les sites de transmission potentiels, fondamentale pour aborder la distribution des mollusques hôtes intermédiaires et leur mode de colonisation des biotopes hydriques ;
- le comportement des populations humaines, qui par leurs activités socio-économiques en relation avec les milieux hydriques influent sur la dynamique de la transmission parasitaire.

Située dans le sud des Hautes Terres, marquée par une topographie de plaine et de plateaux et un climat relativement sec à deux saisons bien marquées, la sous-préfecture d'Ihosy a connu des modifications notables de son paysage socio-économique. Considérée comme le fief des *Bara*, éleveurs de zébus, elle est devenue terre d'accueil pour de nombreuses populations d'ethnies différentes (*Antandroy, Betsileo, Merina, ...*) à la recherche de terres cultivables. La riziculture et les cultures sèches ont été développées par les migrants mais aussi par les autochtones, dont beaucoup ont subi la perte de leur bétail (vols). L'abondance des rivières (bassins amont de grands fleuves du sud du pays), la multiplication des eaux d'irrigation et la pression croissante des populations sur les milieux hydriques pourraient expliquer le grand nombre de foyers hyperendémiques de schistosomose intestinale dans la région, désignée comme zone pilote du PNLS et objet de recherches sur l'endémie bilharzienne depuis le milieu des années 1990.

A partir de la description générale de la région que nous venons de faire, une analyse plus précise des relations entre l'homme et son environnement, ciblées sur les contacts homme-eau, centraux dans le système de transmission de la bilharziose intestinale, sera développée dans le chapitre suivant.

PARTIE II

POPULATIONS ET ENVIRONNEMENT

Notre approche géographique doit se baser avant tout sur une bonne connaissance de l'environnement (occupations du sol et divers types de collections d'eau, sites de transmission potentiels de la schistosomose intestinale) et des populations humaines, considérées en fonction de leurs caractéristiques socio-démographiques.

Après avoir examiné (enquêtes préalables) huit villages répartis dans les différents milieux de la sous-préfecture d'Ihosi sous les angles géographique, malacologique et épidémiologique (chapitre 3), nous étudierons plus finement pour deux d'entre eux la structure socio-démographique des populations et l'organisation des terroirs (chapitre 4). Cette double analyse comparative, basée sur l'emploi d'un questionnaire que nous avons conçu et sur le développement d'une base cartographique, servira de point d'ancrage aussi bien pour caractériser les milieux hydriques susceptibles d'héberger le mollusque hôte intermédiaire (partie III) que pour décrire plus précisément les relations de l'homme à l'eau à travers ses activités (partie IV).

-CHAPITRE 3-

ENQUETES GEOGRAPHIQUES PREALABLES

ET SELECTION DES VILLAGES

Afin de pouvoir cerner sommairement les caractéristiques géographiques des villages de la sous-préfecture d'Ihosal, nous avons mené des enquêtes préalables dans huit de ceux pour lesquels des données malacologiques et épidémiologiques étaient disponibles (chapitre 2). Ces enquêtes géographiques visaient à la fois à établir une typologie des milieux hydriques et à apprécier les critères à prendre en compte pour caractériser les relations de l'homme avec son environnement, hydrique ou non. Elles avaient également pour objectif de permettre la sélection des deux villages que nous avons retenus pour la réalisation d'enquêtes plus détaillées.

I- Les enquêtes géographiques préalables

Les enquêtes géographiques dites «préalables » ont constitué la première étape de notre travail et ont été réalisées entre juin et septembre 2000. Elles s'inscrivaient dans un contexte scientifique où les recherches médicales et biologiques étaient déjà avancées dans la région, mais où l'approche géographique des facteurs bio-environnementaux liés à la transmission de la schistosomose intestinale restait à développer.

I.1- Choix des villages enquêtés

I.1.1- Critères de choix

Pour sélectionner dans un contexte transdisciplinaire les huit villages devant faire l'objet de nos enquêtes, nous avons fixé nos critères sur des bases malacologiques et épidémiologiques autant que géographiques.

Tous les villages devaient abriter sur leurs terroirs des biotopes hydriques colonisés par *B. pfeifferi* et avoir été évalués en terme de prévalence de la schistosomose intestinale par une enquête parasitologique (examens de selles).

Au plan géographique, ils devaient, dans le cadre d'une approche s'intéressant autant aux populations humaines qu'aux facteurs hydro-climatiques, rendre compte de la diversité des milieux géographiques rencontrés dans la sous-préfecture d'Ihosy (vallée d'Ihosy, plaine de Ranotsara et plateau de l'Horombe).

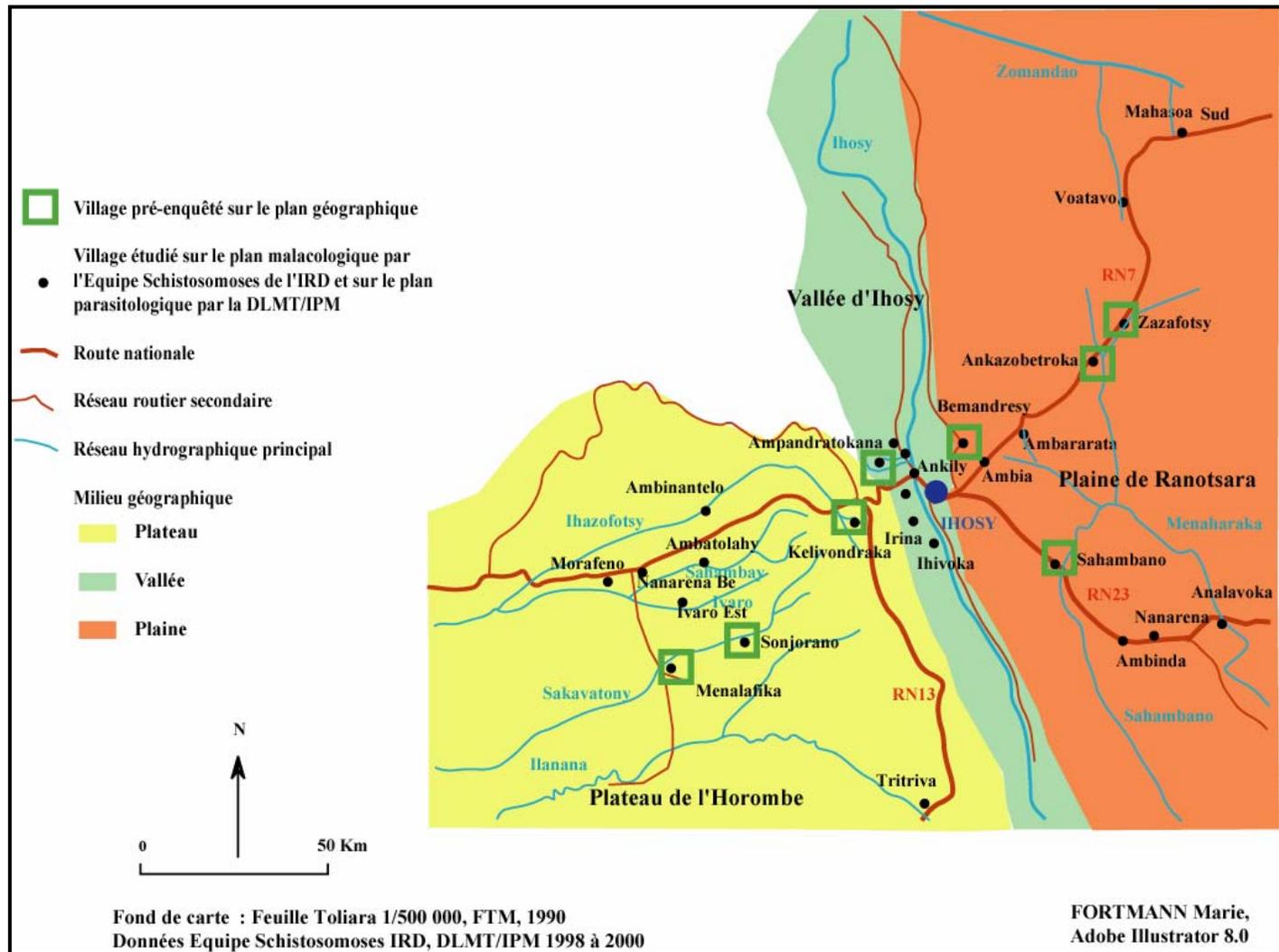
I.1.2- Sélection des huit villages

Les huit villages sélectionnés (carte 3.1) sont répartis entre le plateau de l'Horombe (Sonjorano, Menalafika, Kelivondraka), la vallée d'Ihosy (Ampantratokana) et la plaine de Ranotsara (Bemandresy, Ankazobetroka, Zazafotsy, Sahambano).

Sur le plateau de l'Horombe, Sonjorano et Menalafika sont des villages constitués de plusieurs petits hameaux. Ils ne sont pas visibles depuis la RN7 en direction de Tuléar, à environ 40 km à l'ouest d'Ihosy, d'où on les rejoint par une piste. Le village de Kelivondraka de taille moyenne est accessible toute l'année en empruntant depuis Ihosy la RN7 en direction de Tuléar, puis 50 m avant le pont sur la rivière Ihazofotsy en suivant une piste à gauche dans la forêt d'eucalyptus.

Un seul village (Ampantratokana), de taille importante, a été retenu dans la vallée d'Ihosy, du fait de la diversité des milieux hydriques présents sur le terroir, intéressante par rapport à notre problématique. Il se situe au nord-ouest d'Ankily, que l'on rejoint depuis Ihosy par la RN7 en direction de l'Ouest, puis par une piste longeant la rivière Ihosy vers le Nord.

Dans la plaine de Ranotsara, le village de Bemandresy, de taille moyenne, se localise au pied du versant est du seuil de Bemandresy (séparant la vallée d'Ihosy de la plaine de Ranotsara), à 7 km au nord d'Ihosy. Zazafotsy et Ankazobetroka, également de taille moyenne, sont bâtis le long de la RN7, à environ 35 km au nord-est d'Ihosy. Le grand village de Sahambano est quant à lui situé à 25 km au sud-est d'Ihosy, accessible par la RN 27.



Carte 3.1 : Localisation des villages pré-enquêtés sur le plan géographique dans la sous-préfecture d'Ihoisy

I.1.3- Caractéristiques malacologiques et épidémiologiques

Nous donnons au tableau 3.1 les caractéristiques malacologiques (effectifs maximaux moyens de *B. pfeifferi* récoltés en 20 min) et les caractéristiques épidémiologiques (nombre d'enfants examinés, prévalence et niveau d'endémie du village auquel ils appartiennent) des villages retenus.

Les données malacologiques sont issues de 10 campagnes de prospection entre octobre 1999 et novembre 2000 (comm. personnelle P. Brémond).

Village	Milieu géographique	Esm	Ehc	nb stations +/- prospectées et Ehc M+	Caractéristiques épidémiologiques	
					Nombre d'enfants examinés	Prévalence (%) et niveau d'endémie (x)
Zazafotsy	plaine de Ranotsara	16	693	(2/2) 347	96	94,8 (H)
Ankazobetroka		0	459	(3/3) 153	33	93,9 (H)
Sahambano		7	652	(6/7) 109	98	86,7 (H)
Bemandresy		2	771	(2/3) 386	60	56,6 (m)
Ampandratokana	vallée d'Ihosy	6	2857	(7/9) 408	63	79,4 (H)
Kelivondraka	plateau de l'Horombe	2	149	(1/3) 149	37	89,2 (H)
Sonjorano		37	848	(4/4) 848	56	67,8 (H)
Menalafika		24	833	(2/2) 833	58	53,4 (m)

Tableau 3.1 : Caractéristiques malacologiques et épidémiologiques des villages enquêtés

Esm : effectif réel de mollusques trouvés émettant *S. mansoni* (survivants testés)

Ehc = effectifs horaires cumulés sur l'année pour toutes les stations positives ; EhcM+ : Ehc / nbre stations positives (H) : hyperendémique ; (m) : mésoendémique (sources : Equipe Schistosomoses de l'IRD 1999-2000 ; IPM/DLMT, Rabarijaona 1998)

Les résultats du tableau 3.1. mettent en évidence une variation importante de la transmission dans les villages (Esm variant de 0 à 37), que l'on peut relier avec une variation de l'indice EhcM+. Toutefois, les villages qui ont l'indice Esm le plus élevé (Sonjorano et Menalafika) ont aussi l'indice EhcM+ le plus important.

Une majorité de villages hyperendémiques (75%) se dégage parmi les villages pré-enquêtés. Seuls Bemandresy et Menalafika sont méso-endémiques.

I.2- Modalités des enquêtes géographiques

Les enquêtes que nous avons effectuées étaient basées sur deux approches ; d'une part la réalisation d'entretiens semi-directifs auprès des autorités villageoises, d'autre part la production d'une cartographie sommaire des terroirs villageois avec en particulier les points de contact potentiels sur les différents milieux hydriques.

I.2.1- Entretiens auprès des autorités villageoises

Les entretiens ont été effectués afin de relever les activités pratiquées (agricoles, domestiques, pastorales...) par les villageois, impliquant ou non un contact avec l'eau, et les lieux de fréquentation hydrique potentiels. Pour ce faire, nous avons exprimé nos questions « ouvertes »¹ ou « semi-ouvertes »² afin de ne pas influencer nos interlocuteurs et de leur permettre d'identifier eux-mêmes les activités et leurs lieux de pratique. Les rares questions « fermées » appelaient des réponses de type binaire (oui ou non). Lors des entretiens, nous étions assistée par des membres malgaches de l'Equipe Schistosomoses de l'IRD qui connaissaient déjà les autorités locales et jouaient le rôle d'interprètes et d'animateurs de la discussion dans la langue nationale.

I.2.2- Reconnaissance et cartographie

Afin de comprendre l'organisation des terroirs nous avons effectué nos observations sur le terrain en compagnie des chefs de villages ou de leurs représentants. Nous avons relevé par GPS (Global Positioning System) les coordonnées géographiques à partir desquelles nous avons établi une cartographie des occupations du sol, des milieux hydriques et des points potentiels de contact.

¹ Question ouverte : question qui laisse le choix de la réponse à l'enquêté (aucune proposition de réponse).

² Question semi-ouverte : question avec proposition de différentes réponses (le choix est encore possible mais les réponses sont déjà influencées par l'enquête).

I.3- Résultats des enquêtes géographiques préalables

Sonjorano et Menalafika sont des villages typiques du plateau de l'Horombe, avec une majorité d'individus *Bara* et quelques *Betsileo* occupant un terroir étendu et plan, recouvert par une savane strictement herbacée. Leurs activités économiques sont concentrées sur l'élevage des zébus, complété par de la riziculture pluviale et irriguée. Le travail saisonnier (riziculture (récolte, préparation des rizières), recherche de saphir) est majoritairement pratiqué par les hommes. Les rivières, Sakavatony pour Sonjorano et Menalafika (affluent de la Sakavatony) pour le village du même nom, qui constituent les principaux milieux hydriques à proximité des villages, sont utilisées pour de nombreuses activités (lessive, collecte d'eau, vaisselle, baignade, irrigation via des canaux traditionnels (en terre) pérennes et temporaires). Aucune école n'est implantée dans ces villages.

Kelivondraka présente un contexte géographique différent, atypique du plateau. Peuplé par des personnes d'origines ethniques allochtones (*Antandroy*, *Betsileo*, *Merina*, ...), il est situé dans une forêt plantée d'eucalyptus peu exploitée et entourée de savane herbacée, sur un terroir peu pentu. Le village a été le site d'une fabrique de conserve de viande (corned-beef) jusqu'en 1980, dirigée par des Français. L'élevage de zébus est pratiqué de façon marginale (l'insécurité a conduit à la diminution de cette activité) et la riziculture irriguée, à une récolte par an, plus développée que dans les deux autres villages, est associée à des cultures sèches et maraîchères. La pêche est également pratiquée. Des villageois quittent régulièrement le terroir pour des travaux rizières saisonniers ou pour la recherche de saphir à Ilakaka (mobilité éloignée). Les principaux milieux hydriques sont les rivières Ihazofosty et Bekinana fréquentées pour de multiples activités (lessive, baignade, arrosage de cultures maraîchères et sur *baiboho*...). Des puisards creusés à proximité de la rivière Bekinana sont utilisés pour la corvée d'eau dont les usages domestiques sont multiples (cuisine, vaisselle, toilette pratiquées à la maison). Le village est doté d'une Ecole Primaire Publique (EPP).

Dans la vallée d'Ihosy, le village d'Ampandratokana illustre bien l'afflux de migrants avec la présence d'ethnies du Sud, du Sud-Est et des Hautes Terres. Une mission catholique dotée d'un centre de formation pour les jeunes est implantée à proximité du village. Les villageois pratiquent l'élevage, la pêche, mais vivent surtout d'une polyculture basée sur le riz (rizières pluviales et irriguées (permettant pour certaines de faire deux récoltes par an)), et les cultures sur *baiboho*, maraîchères et sèches, sur un terroir pentu dans sa partie amont. Les habitants se rendent au marché d'Ihosy (mobilité de proximité) pour la vente des produits. Ils cherchent l'eau (qu'ils

utilisent pour faire la cuisine, la vaisselle et la toilette (pratiquées à la maison)), dans une "source" aménagée, plus « propre » que la rivière. Certaines personnes pratiquent une mobilité plus éloignée, essentiellement vers Ilakaka pour le saphir. Les principaux milieux hydriques sont les rivières Ivatriana et Ampasimaiky situées respectivement au sud et au nord du village et fréquentées pour de multiples activités (lessive, baignade, abreuvement des zébus, arrosage des cultures maraîchères et sur *baiboho*) ; elles servent aussi à l'irrigation des parcelles rizicoles via des canaux traditionnels, à partir de retenues aménagées sur les rivières. Le village abrite une EPP.

Le village de Bemandresy est peuplé de familles d'appartenances ethniques variées (*Bara, Betsileo, Antandroy, ...*) qui vivent de l'agriculture basée sur le riz (rizières pluviales et irriguées), des cultures maraîchères et des cultures sèches pratiquées sur un terroir pentu dans sa partie amont, orienté SO-NE et drainé par un petit cours d'eau pérenne. Une EPP est implantée dans le village.

Dans la plaine de Ranotsara, les villages de Zazafotsy et d'Ankazobetroka, au bord de la rivière Fandramana (affluent de la rivière Sahambano), présentent des situations géographiques similaires. Des populations locales (*Bara*) cohabitent avec des migrants (*Betsileo, Antandroy, Merina*) sur un terroir relativement plan. Elles vivent essentiellement de polyculture basée sur le riz, les cultures sur *baiboho* à proximité du cours d'eau et les cultures sèches pratiquées près des habitations. Une EPP est implantée dans le village de Zazafosty.

Le village de Sahambano, qui présente un vaste terroir topographiquement plan, regroupe des populations d'origines ethniques différentes (*Antandroy, Bara, Antaisaky, Merina*). L'agriculture constitue la principale activité économique avec la pêche pratiquée le long de la rivière Sahambano, de taille assez importante, qui sert également à l'irrigation des parcelles rizicoles via des canaux traditionnels et aux tâches domestiques (lessive, vaisselle, collecte d'eau, baignade...). Le village est doté d'une EPP.

Les caractéristiques géographiques des huit villages pré-enquêtés montrent des physionomies variables tant sur le plan humain que sur le plan physique. Elles mettent en évidence la diversité des activités liées à l'eau et leurs modes de pratique (vaisselle pratiquée dans certain cas à la rivière (Sonjorano, Menalafika, Sahambano...), dans d'autres cas à la maison comme à Ampandratokana et Kelivondraka...) et la variété des milieux hydriques (rivière, canaux pérennes, canaux temporaires, retenues, ...). La

définition d'une terminologie précise basée sur une typologie des activités et des milieux hydriques s'avère dès lors nécessaire.

II- Typologie des relations homme - eau

II.1- Typologie des activités liées à l'eau

Les critères "lien direct ou indirect à l'eau" et "contact obligatoire ou facultatif avec le milieu hydrique" ont été pris en compte pour établir une typologie des activités, en relation avec le niveau de contact à l'eau nécessaire à la transmission parasitaire.

Les cultures sèches (maïs, manioc...) sont exclues de la typologie étant donné qu'en l'absence d'arrosage, elles n'impliquent aucun contact avec le milieu hydrique.

II.1.1- Activités directement liées à l'eau avec contact obligatoire

La lessive est pratiquée usuellement au bord d'une collection d'eau, sur des rochers, les pieds et les bras dans l'eau.

La baignade est l'activité qui implique le plus fort niveau d'immersion. Elle permet de se rafraîchir, de se laver et de se divertir.

La toilette peut se pratiquer au bord d'une collection d'eau ou à la maison avec de l'eau collectée (comme à Ampandratokana et Kelivondraka).

La riziculture, que nous avons considérée comme l'ensemble des tâches liées à cette activité (hersage, semis, repiquage, récolte, entretien des canaux) entraîne des contacts à l'eau plus ou moins marqués selon la période.

II.1.2- Activités directement liées à l'eau avec contact facultatif

Ce sont des activités qui nécessitent une proximité par rapport à un milieu hydrique ; le contact n'est pas obligatoire mais est favorisé.

La pêche se pratique dans la région aussi bien de manière immergée (à la nasse, au filet, au harpon) que non immergée (emploi d'une canne à pêche depuis la berge).

La corvée d'eau se pratique le plus souvent à l'aide d'un seau. **La vaisselle** lui est associée dans certains villages (Ampandratokana et Kelivondraka) et réalisée à la maison avec l'eau collectée, tandis que dans d'autres villages (Sonjorano, Menalafika par exemple) c'est une activité à part entière pratiquée dans des collections d'eau.

Les cultures maraîchères et sur *baiboho* nécessitent un arrosage régulier, qui peut exposer les personnes qui en sont chargées au contact avec un milieu hydrique, mais avec une immersion partielle (pieds et/ou mains dans l'eau).

II.1.3- Activités indirectement liées à l'eau avec contact facultatif

Ce sont des activités dont la pratique n'est pas conditionnée par la proximité d'un milieu hydrique, ni par un contact obligatoire avec l'eau.

Le ramassage du bois peut être accompagné d'une baignade.

Le gardiennage du bétail est exercé par les bouviers qui surveillent les zébus et les conduisent aux points d'abreuvement, où ils peuvent s'adonner à une baignade.

La mobilité de proximité consiste en un déplacement de courte durée (une journée au maximum) qui se fait généralement à pied depuis le terroir villageois. Il peut engendrer un contact avec des milieux hydriques (baignade récréative ou toilette) sur le trajet, dans le terroir comme à l'extérieur. La mobilité réduite concerne les personnes qui se rendent au marché à Ihosy et celles qui visitent des connaissances ou de la famille dans les villages voisins du leur.

La mobilité éloignée, d'une durée plus longue, est d'ordre économique (travail agricole saisonnier, recherche de saphir à Ilakaka, ...) ou familial (visite). Le trajet se fait souvent de manière véhiculée et le contact avec l'eau sur le trajet est plus restreint. Ce type de mobilité est très pratiqué dans la région, notamment par les personnes ayant migré et qui ont de la famille dans une autre région (Androy dans le Sud).

II.2- Typologie des milieux hydriques

Nous présentons ci-dessous une typologie des milieux hydriques dans notre zone d'étude, établie selon trois critères:

- la dynamique : eaux courantes, eaux calmes ;
- l'origine : naturelle, anthropisée ;
- le régime : pérenne, temporaire (ou saisonnier)

Nous classons à part les **parcelles rizicoles**, mises en eau de façon plus ou moins longue et sur une hauteur variable (en général pas plus de 20 cm) selon les périodes de l'année et affectées par une faible circulation des eaux. Ces surfaces cultivées inondées apparaissent, selon les périmètres, jointives ou non.

II.2.1- Les eaux courantes

Nous distinguons les eaux courantes naturelles (cours principal de rivière, affluent) et anthropisées, qui ont subi l'intervention de l'homme dans leur cheminement (canaux des périmètres irrigués).

- *Les eaux courantes naturelles*

Les **cours d'eau** présents dans la région présentent un régime **pérenne ou temporaire**. Ils peuvent être de différents ordres (**affluent, cours principal**), déterminant à la fois leur taille mais aussi leur position par rapport au réseau hydrographique auquel ils appartiennent (tête de bassin-versant ou non). Leur morphologie et la nature de leur lit (sables, roches) présentent des variations.

- *Les eaux courantes anthropisées*

Ce sont surtout les eaux qui circulent dans les **canaux traditionnels**, façonnés majoritairement en terre et dont les bordures sont recouvertes d'herbe lorsqu'ils ne sont pas entretenus. Toutefois, les canaux peuvent être cimentés partiellement, notamment lorsqu'ils sont à proximité d'ouvrages d'art (barrage, radier).

La hiérarchie des réseaux de canaux traditionnels est généralement peu marquée et les canaux d'irrigation sont souvent confondus avec les canaux de drainage, rendant complexe le maillage hydro-agricole ; c'est pour cette raison que nous les regroupons sous le même nom générique de canaux.

Les prises traditionnelles placées sur les cours d'eau sont fréquemment multiples et la subdivision en de nombreux canaux secondaires et tertiaires se fait rapidement. Par ailleurs, comme pour les eaux naturelles, l'écoulement des eaux canalisées peut présenter des régimes d'écoulement variables ; canaux **temporaires** (avec tarissement durant la saison sèche) ou canaux **pérennes**.

A Ampandratokana, une "**source aménagée**" par les villageois, localisée en bordure du périmètre rizicole de la rivière Ivatriana, est également rattachée à cette catégorie.

II.2.2- Les eaux calmes

Elles englobent des milieux hydriques dont l'écoulement est très faible ou nul. Aucun lac n'est présent dans la région. Les eaux calmes sont toutes dans un cadre aménagé par les hommes.

Les retenues sur rivière sont des sections de cours d'eau (plans) situées en amont de barrages et de profondeur variable selon la taille de l'ouvrage hydraulique.

Les puisards sont des trous d'environ 1 m de diamètre et de faible profondeur (moins d'1 m en général) qui sont creusés là où la nappe phréatique affleure. Ils sont généralement pérennes et localisés sur les berges des cours d'eau ou à proximité des cultures maraîchères et des *baiboho*. Selon Henri-Chartier (2000), « la forme ouverte et souvent évasée du puisard le rend vulnérable à l'apport de saletés par ruissellement » et nécessite que les villageois le nettoient plusieurs fois dans l'année. Ce curage entraîne alors l'élimination des végétaux présents sur les parois.

Les **puits** se distinguent des puisards par le fait que les premiers sont creusés plus profondément (4 à 8 m) et que leur aménagement par margelle cimentée évite aux eaux de ruissellement de souiller l'eau puisée.

III- Sélection des deux villages d'étude

Le nombre réduit d'appareils de mesure hydrologique dont nous disposons pour notre étude (deux stations hydrométriques³ et une échelle limnimétrique) et la complexité présumée des relations homme-eau au vu des typologies des activités et des

³ Une station hydrométrique se compose d'un limnigraphe et d'une échelle limnimétrique. Elle permet de mesurer la hauteur d'eau d'un cours d'eau.

milieux hydriques nous ont contraint à limiter notre approche géographique approfondie du système de transmission de *S. mansoni* à deux villages.

III.1- Critères de sélection

Pour développer notre étude à l'échelle du foyer de transmission, nous avons choisi de travailler dans des configurations hydrographiques de tête de bassin-versant de petite taille, nous permettant à la fois de faire des mesures hydrologiques (hauteurs, vitesses, débit) et d'aborder la dynamique spatio-temporelle de *B. pfeifferi* à partir des sources, sur une partie réduite du réseau hydrographique où l'on peut examiner les chemins de l'eau. En vue d'une analyse comparative, nous avons également décidé de sélectionner nos villages dans des milieux géographiques différents (la variation la plus importante est relevée entre la vallée d'Ihoso et le plateau de l'Horombe).

Parallèlement, il fallait tenir compte de critères de « faisabilité » prenant en compte l'accessibilité et la distance par rapport à Ihoso où nous logions, la sécurité dans les villages (mesures hydrologiques répétées à réaliser à différents moments de la journée et de la nuit) et le niveau probable de coopération des populations à nos enquêtes géographiques.

III.2- Les villages retenus

La prise en compte du critère hydrologique a conduit à ne pas retenir Zazafotsy, Ankazobetroka et Sahambano, situés sur des bassins-versants jugés trop grands par rapport à notre recherche. Les critères d'accessibilité, de sécurité et de coopération ont contraint à éliminer les villages de Sonjorano et de Menalafika, pourtant bien plus représentatifs du plateau de l'Horombe que Kelivondraka (cf. § I.3.1). Le village de Bemandresy n'a pas été sélectionné car il était assez difficile d'accès (l'entrée du village nécessite un passage à gué souvent impraticable) et la rivière était très pentue en amont ce qui n'était pas favorable aux mesures hydrologiques.

La proximité avec la ville d'Ihoso où nous logions, l'accessibilité permanente, la diversité des terroirs et des milieux hydriques fréquentés pour la majeure partie des activités, la motivation et la coopération des populations d'Ampandratokana et de Kelivondraka, à mettre en relation avec leur "familiarité" avec les Vazaha⁴ (cf. § I.3.1),

⁴ Vazaha est un mot malgache qui désigne l'Européen.

ont conduit à retenir ces deux villages situés dans les deux milieux géographiques que nous voulions étudier de manière comparative. Nous sommes néanmoins consciente qu'ils ne sont pas représentatifs de leurs milieux (abandon de l'élevage à Kelivondraka lié à l'insécurité, polyculture variée à Ampandratokana liée à l'influence de la mission catholique à proximité).

Les enquêtes préalables qui ont été menées dans notre région d'étude ont permis de décrire et d'analyser sommairement les relations de l'homme avec son environnement et de mettre en exergue leurs variations selon les milieux géographiques. Le contraste est saisissant entre les populations pastorales du plateau de l'Horombe, constituées essentiellement par l'ethnie autochtone *Bara*, et les populations de la vallée d'Ihoso et de la plaine de Ranotsara marquées par un important brassage multi-ethnique et tournées vers la polyculture. De la description des huit villages enquêtés, il ressort une grande diversité des activités impliquant un lien avec l'eau, présente sous des formes variées.

La définition des activités liées à l'eau et des milieux hydriques sur la base de typologies a permis de préciser les deux composantes majeures de l'environnement du système de transmission de la schistosomose intestinale. Cette analyse s'avère indispensable pour déterminer les milieux hydriques susceptibles d'héberger le mollusque hôte intermédiaire (partie III, chapitre 7). Elle a été également nécessaire à l'élaboration du questionnaire que nous avons créé pour décrire les populations (chapitre 4) et les relations homme-eau dans les deux villages (partie IV).

Ces études nous ont par ailleurs permis de sélectionner nos deux villages d'étude en prenant en compte des critères scientifiques et des critères de faisabilité, dont le poids était important dans le choix.

-CHAPITRE 4-

POPULATIONS ENQUETEES

ET TERROIRS VILLAGEOIS

La typologie des activités pratiquées selon leurs liens avec l'eau (chapitre 3) a été utile à la conception du questionnaire qui constitue un de nos deux outils de travail dans l'étude des relations homme-eau à Ampandratokana et Kelivondraka. La typologie des milieux hydriques a permis de contribuer à l'élaboration du questionnaire au même titre qu'à la réalisation cartographique et à la description des terroirs.

La caractérisation socio-démographique des deux populations enquêtées et la description de leurs espaces de vie, nécessaires pour comprendre les relations qu'elles entretiennent avec leurs milieux, constituent les objectifs de ce chapitre.

Après avoir présenté la méthodologie et les conditions de réalisation des enquêtes géographiques, nous caractériserons les populations villageoises selon des critères démographiques (âge, sexe) et sociaux (origine ethnique, mobilité, niveau d'instruction). Nous décrirons enfin la structure des terroirs villageois (cartographie) en tenant compte de la distribution spatiale des différents types de milieux hydriques et de l'occupation des sols par les cultures et les milieux naturels.

Cette double approche (populations et terroirs) nous permettra d'orienter les prospections malacologiques (partie III) et l'analyse des contacts à l'eau en relation avec le statut parasitologique des populations enquêtées (partie IV).

I- Méthodologie de l'enquête

I.1- Recensement des populations villageoises

La première étape de l'étude a consisté, après discussions et avis favorable des chefs de villages, à effectuer en avril 2001 un recensement des populations d'Ampandratokana et de Kelivondraka afin d'établir une première base de données et d'estimer les moyens et le temps nécessaires à la réalisation des enquêtes. Nous avons relevé avec l'aide d'un interprète et collaborateur malgache les informations par ménage (défini sur la base de la cuisine commune ; un ménage peut en effet avoir deux habitations, l'une où dorment les parents et l'autre les enfants) et nous avons réalisé une cartographie de l'emplacement des habitations avec le code du ménage. Pour cela nous étions accompagnés par un ou plusieurs représentants du village qui nous renseignaient sur les ménages absents lors du recensement.

Durant ce recensement, nous avons informé les villageois de notre second passage quelques semaines plus tard afin de réaliser l'enquête géographique portant sur les relations homme-eau.

I.2- Questionnaire d'enquête

Le questionnaire-type élaboré est présenté en annexe 1. Il comporte des questions « ouvertes », « semi-ouvertes » (proposition de plusieurs choix de réponses) et des questions « fermées » (cf. chapitre 3).

Sa première partie concerne les questions relatives à l'identité, à l'âge et au sexe, à la relation de parenté, à l'origine ethnique, au lieu de naissance, à la date d'installation au village si l'individu n'y est pas né, au niveau de scolarisation (si scolarisé) et au niveau d'instruction (uniquement pour les individus de 6 ans et plus).

La deuxième partie du questionnaire concerne les activités liées à l'eau et doit renseigner les lieux, les périodes et les modes de contact que les individus ont avec l'eau. Le but est de déterminer qui fait quoi dans le ménage et à l'échelle du village, mais aussi d'évaluer les différences de fréquentation des milieux hydriques en fonction des activités. Comme la disponibilité et l'accessibilité à ces milieux varient en fonction du temps, essentiellement selon les saisons mais aussi sous l'action de l'homme (retenues, mise à sec de canaux ...), les modalités de certaines des activités ont été

considérées durant les deux saisons, sèche et humide (chapitre 2). La répétition des activités dans le temps a également été prise en compte, de même que le degré d'immersion.

I.3- Déroulement des enquêtes

Les enquêtes géographiques ont été réalisées au mois de juin 2001 auprès des personnes préalablement recensées et présentes à cette date dans chacun des deux villages. Nous avons choisi cette période de l'année pour effectuer ces entretiens car elle correspondait à une phase relativement calme dans les activités agricoles (fin de récolte du riz « *vary afara* »¹), permettant aux personnes une relative disponibilité.

Seuls les individus résidant dans les villages ont été enquêtés. Nous avons dans la plupart des cas interrogé individuellement les personnes dans leurs habitations avec l'aide de notre collaborateur malgache, mais si l'individu était trop jeune, ou absent, nous réalisons l'enquête auprès d'un parent. Les entretiens se sont déroulés durant plusieurs jours, le plus souvent dès l'aube et en continu jusqu'en fin d'après-midi, afin de pouvoir interroger un maximum de personnes et de ne pas trop les perturber dans le déroulement de leurs activités.

Les habitants se sont prêtés avec une grande disponibilité à ces enquêtes malgré une petite crainte d'être dépossédés de leurs terres par un « Vazaha », que nous avons perçue à Ampandratokana au deuxième jour lorsque nous avons demandé où étaient situées les terres de culture. Mais un dialogue avec le chef du village et une explication de sa part auprès des villageois a permis de dissiper l'inquiétude.

II- Effectifs villageois et taux de participation à l'enquête

Les effectifs des personnes recensées dans les deux villages en avril 2001 et de celles qui ont participé aux enquêtes en juin 2001 sont donnés au tableau 4.1.

¹ Riz de saison sèche qui est repiqué en janvier et récolté en mai-juin

Villages	Effectifs		Taux de participation (%)
	Populations recensées	Populations enquêtées	
Ampandratokana	631	600	95,1%
Kelivondraka	232	231	99,6%
Global	863	831	96,3%

Tableau 4.1 : Effectifs des personnes recensées et enquêtées et taux de participation dans les deux villages

Le recensement effectué dans chacun des villages met en évidence trois fois plus de résidents à Ampandratokana (631) qu'à Kelivondraka (232).

L'estimation du taux de participation dans chaque village et globalement (96,3%) montre dans les deux cas une très forte collaboration des habitants (à Kelivondraka, une seule personne n'a donc pas participé à l'enquête). La motivation des villageois par rapport à une maladie qui les touche beaucoup en a été la principale raison. Les personnes recensées qui n'ont pas participé à l'enquête étaient majoritairement absentes. Seules deux personnes recensées à Ampandratokana ont refusé de répondre à l'enquête.

III- Caractéristiques socio-démographiques des populations enquêtées

Dans les populations rurales de pays en voie de développement comme Madagascar, le contexte socio-culturel détermine les attributions des uns et des autres en fonction de leur sexe, de leur âge et de leur statut dans la famille (Droy, 2001). L'âge et le sexe des populations doivent être analysés pour pouvoir apprécier dans quelle mesure ils modulent la pratique des activités liées à l'eau (voir chapitre 8).

III.1- Etude démographique

Afin de décrire la structure par âge des populations enquêtées, nous avons distingué trois classes d'âge en nous référant aux statistiques nationales mais aussi en jugeant du niveau d'autonomie des individus dans leurs activités:

- les individus que nous appelons "enfants" sont âgés de 0 à 5 ans et ne sont pas autonomes ;

- les individus que nous appelons "jeunes" sont âgés de 6 à 14 ans ; ils sont capables d'effectuer les activités de manière autonome mais leurs pratiques peuvent être moins intensives que celles des adultes, en relation avec leur âge

- les individus âgés de 15 ans et plus sont considérés comme des "adultes" car ils arrivent en fin de scolarisation et rentrent pleinement dans la « vie active ».

III.1.1- Structure par âge et sexe à Ampandratokana

La structure en fonction du sexe et de l'âge à Ampandratokana est donnée au tableau 4.2.

Classe d'âge	Féminin		Masculin		Total		Sex-ratio (M/F)
	Effectifs	Proportions	Effectifs	Proportions	Effectifs	Proportions	
"Enfants" (0-5 ans)	68	24%	65	21%	133	22%	0,96
"Jeunes" (6-14 ans)	58	20%	78	25%	136	23%	1,34
"Adultes" (15 ans et +)	161	56%	170	54%	331	55%	1,06
Total	287	100%	313	100%	600	100%	1,09

Tableau 4.2 : Effectifs et proportions des personnes enquêtées par sexe et âge, et sex-ratio, à Ampandratokana

L'échantillon d'Ampandratokana montre un sex-ratio globalement bien équilibré (1,09) malgré une sur-représentation des garçons chez les jeunes (1,34). La structure par tranches d'âge met en évidence pour chaque sexe une sur-représentation des adultes (globalement, 55% contre 45% d'enfants et jeunes).

III.1.2- Structure par âge et sexe à Kelivondraka

La structure en fonction du sexe et de l'âge à Kelivondraka est donnée au tableau 4.3.

Classe d'âge	Féminin		Masculin		Total		Sex-ratio (M/F)
	Effectifs	Proportions	Effectifs	Proportions	Effectifs	Proportions	
"Enfants" (0-5 ans)	34	29%	21	19%	55	24%	0,62
"Jeunes" (6-14 ans)	18	15%	23	20%	41	18%	1,28
"Adultes" (15 ans et +)	66	56%	69	61%	135	58%	1,05
Total	118	100%	113	100%	231	100%	0,96

**Tableau 4.3 : Effectifs et proportions des personnes enquêtées
par sexe et âge, et sex-ratio, à Kelivondraka**

L'échantillon de Kelivondraka montre un sex-ratio globalement équilibré (0,96) malgré une sur-représentation des filles chez les enfants (0,62) et des garçons chez les jeunes (1,28). La sur-représentation des adultes (58%) est observée comme à Ampandratokana.

III.1.3- Comparaison des structures démographiques

Nos enquêtes géographiques concernent au total 831 personnes, dont 72% à Ampandratokana. L'échantillon enquêté dans les deux villages est constitué globalement de 51% d'hommes et 49% de femmes (sex-ratio : 1,06), avec des proportions d'enfants, de jeunes et d'adultes de 23%, 21% et 56% respectivement.

Dans ce paragraphe nous présentons des résultats statistiques issus de comparaisons faisant appel au test du Khi-2. Nous précisons désormais si les différences sont significatives au risque (ou seuil) de 1% ($P < 0,01$) ou de 5% ($P < 0,05$).

Le test statistique du Khi-2 appliqué à la comparaison des deux échantillons villageois ne révèle aucune différence (au risque de 1%) dans leur structure basée sur le découpage en 6 groupes "âge/sexe" (enfant/masculin, enfant/féminin, ...).

III.2- Origines ethniques et dynamique de l'immigration

L'appartenance ethnique est étudiée car elle peut influencer l'aménagement de l'espace de vie (terroir), la pratique des activités, en fonction des coutumes et des représentations.

III.2.1- Une composition ethnique variée, résultat des flux migratoires

La sous-préfecture d'Ihosy est très hétérogène sur le plan ethnique comme nous l'avons vu précédemment (chapitre 2).

Par souci de simplification nous avons regroupé dans notre analyse certaines ethnies en fonction de leur région d'origine. Ainsi nous appelons « Hautes Terres » le groupe formé par les *Betsileo* et les *Merina* et « Sud-Est » celui englobant les *Antaifasy*, *Antaisaka* et *Antanosy*. Les *Antandroy* (migrants originaires du sud) et les *Bara* (ethnie locale), mieux représentés, sont considérés comme des groupes ethniques à part entière.

La figure 4.1 illustre la distribution des groupes ethniques pour chacun des villages.

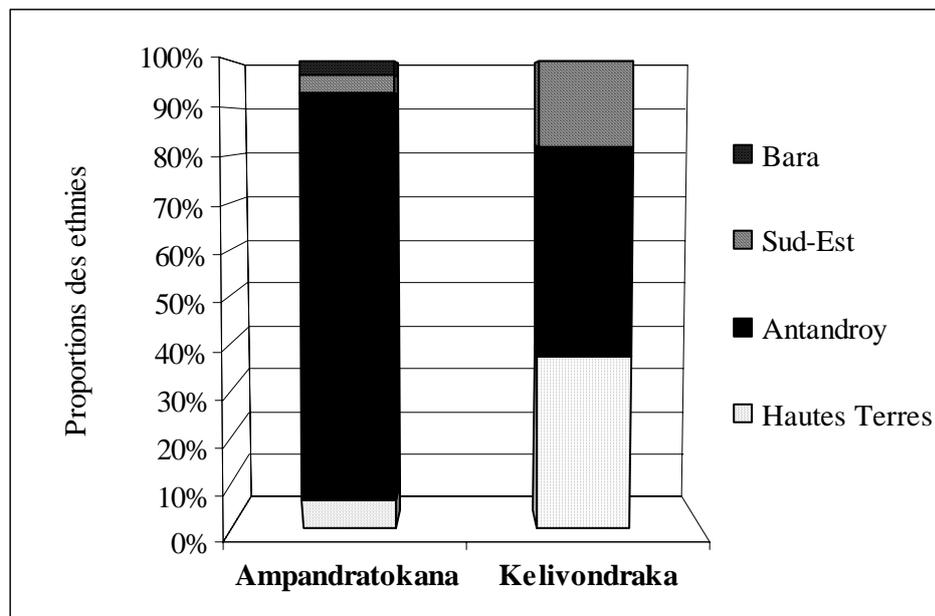


Figure 4.1 : Distribution des groupes ethniques par village

Dans chaque village, l'ethnie locale *Bara* est très minoritaire par rapport aux ethnies allochtones (3% à Ampandratokana et absente à Kelivondraka).

La composition ethnique intervillageoise montre des distributions différentes (figure 4.1). Même si les *Antandroy* sont proportionnellement plus nombreux que les individus des autres ethnies dans les deux villages, la proportion est significativement ($P < 0,01$) plus importante à Ampandratokana (87%) qu'à Kelivondraka (45%). Inversement, la proportion d'ethnies *Betsileo* et *Merina* est plus importante ($P < 0,01$) à

Kelivondraka (37%) qu'à Ampandratokana (6%), de même que celle d'ethnies *Antaisfasy* et *Antaisaka* (18% à Kelivondraka ; 4% à Ampandratokana). Les variations intervillageoises des structures ethniques sont liées à l'historique de l'immigration dans ces villages.

III.2.2- Les différentes phases d'immigration

Au niveau de l'ensemble des personnes enquêtées, on dénombre 300 personnes (soit 48%) qui ne sont pas nées dans le village où ils résident. Cette proportion importante peut expliquer le déséquilibre constaté entre d'une part les adultes et d'autre part les jeunes et les enfants.

L'important brassage ethnique observé au sein des villages nous a conduit à considérer la période d'arrivée des immigrants d'après leur appartenance ethnique. Par immigrants, nous entendons des personnes non natives du village où elles résident.

Ces informations permettent de mettre en relation l'arrivée des migrants et les modifications environnementales consécutives.

Nous avons distingué trois périodes d'arrivée dans les deux villages d'Ampandratokana et de Kelivondraka en fonction de leur histoire :

- Phase 1, avant 1970 : premiers arrivants (la plupart sont des hommes) ;
- Phase 2, 1970-1975 : arrivée et installation de leurs familles ;
- Phase 3, après 1975 : deuxième vague de migrations.

Le tableau 4.4 donne l'effectif des immigrants en fonction de la période d'installation, des villages et de leur ethnie d'appartenance. Les migrants représentent respectivement 36% et 35% des personnes enquêtées respectivement à Ampandratokana et à Kelivondraka.

Arrivée globale	Phase 1		Phase 2		Phase 3		Total	
	Avant 1970 (premiers arrivants)		1970-1975 (installation)		Après 1975 (2ème migration)			
Villages	APD	KEL	APD	KEL	APD	KEL	APD	KEL
Antandroy	16	8	27	7	108	8	151	23
Hautes Terres		3	1	6	43	40	44	49
Sud-Est	1	1	2	2	16	5	19	8
Total	17	12	30	15	167	53	214	80

Tableau 4.4 : Effectifs des immigrants en fonction de la période d'installation, du village et de l'ethnie d'appartenance (Ampandratokana : APD ; Kelivondraka : KEL)

Les deux premières phases d'immigration dans les deux villages sont étroitement liées à l'implantation d'institutions étrangères.

Une mission catholique italienne s'est ouverte en 1955 à côté du village d'Ampandratokana. Elle forme actuellement les jeunes de la région aux méthodes de l'agriculture, de l'élevage, de la menuiserie... Elle a développé la riziculture, les vignobles et la culture du coton sur le versant ouest de la vallée d'Ihosy près d'Ankily et a embauché vers 1968 de la main d'œuvre essentiellement masculine originaire de la région d'Ambovombe (ethnie *Antandroy*). Entre 1970 et 1975, les familles des employés se sont installées près de la mission et ont agrandi le village d'Ampandratokana. Aujourd'hui, les villageois vivent de polyculture (riz, tabac, maïs, arachide...) et possèdent quelques têtes de bétail.

Le village de Kelivondraka a commencé à se développer en 1944 lors de l'installation d'un site de production de conserve de viande de bœuf d'une société d'import-export française. Elle embaucha de la main d'œuvre des régions des Hautes Terres et du Sud-Est qui cherchait du travail dans la région. Cette vague d'immigration correspond aux phases 1 (arrivée des hommes) et 2 (installation de leurs familles).

Toutefois la première vague d'immigration (phases 1 et 2) ne concerne pas la majorité des migrants (8% de l'ensemble des migrants à Ampandratokana et 15% à Kelivondraka) et touche principalement des *Antandroy*. L'essentiel des migrants est arrivé durant la deuxième vague d'immigration (phase 3) après 1975 (78% des migrants à Ampandratokana et 66% à Kelivondraka). L'immigration récente concerne 98% des personnes originaires des Hautes Terres et 71% des *Antandroy* à Ampandratokana. A Kelivondraka, elle concerne 81% des individus du groupe des Hautes Terres, 34% des *Antandroy* et 60% des migrants du groupe Sud-Est. Concernant les *Antandroy*, cette migration est à mettre en relation avec la grande sécheresse de 1990-91 qui a sévi dans le Sud (régions de Bekily et Ambovombe). Pour les populations originaires des Hautes Terres et du Sud-Est, le phénomène migratoire a été motivé par la recherche de terres cultivables.

III.3- Scolarisation et niveau d'instruction

III.3.1- Taux de scolarisation

Le taux de scolarisation est un indicateur à prendre en compte du fait qu'il peut influencer sur les activités liées à l'eau, le temps passé à l'école étant du temps en moins consacré aux activités. La scolarisation permet aussi la sensibilisation aux risques de transmission et de contamination de la schistosomose intestinale.

Le tableau 4.5 présente pour chaque village les effectifs et les proportions de jeunes scolarisés et non scolarisés en fonction du sexe.

Jeunes en âge d'être scolarisés (6-14 ans)	Ampandratokana			Kelivondraka		
	Filles	Garçons	Total	Filles	Garçons	Total
Scolarisés	25	49	74	13	16	29
Non scolarisés	33	29	62	5	7	12
Total	58	78	136	18	23	41
Taux de scolarisation	43,1%	62,8%	54,4%	72,2%	69,6%	70,7%

Tableau 4.5 : Effectifs des jeunes scolarisés et non scolarisés en fonction du sexe et taux de scolarisation par village

Le taux de scolarisation observé globalement dans notre échantillon (58%) est plus élevé que le taux national (48% lors du RGPH de 1993), ce qui peut s'expliquer par la présence d'écoles primaires publiques dans les deux villages. L'écart est plus marqué à Kelivondraka (71%) qu'à Ampandratokana (54%), où les filles sont significativement ($P < 0,05$) moins scolarisées que les garçons (43% contre 63%), probablement à cause de leur implication plus forte dans l'aide aux tâches ménagères.

Le test du Khi-2 ne met en évidence aucune influence de l'appartenance ethnique sur le taux de scolarisation pour les jeunes des groupes bien représentés : Hautes Terres (68%, $n = 31$) et *Antandroy* (56%, $n = 138$), globalement et à l'échelle intra-villageoise.

III.3.2- Niveau d'instruction

Outre le taux de scolarisation, il est intéressant de connaître le niveau d'instruction des individus car il peut influencer sur l'hygiène et les rapports de l'homme à son environnement. Il est déterminé chez les individus âgés de 6 ans et plus et est caractérisé par 4 classes :

- Néant : n'a jamais fréquenté l'école ;
- Primaire : a été à l'école jusqu'au niveau de l'EPP ;
- Secondaire : a été au collège ;
- Supérieur : a été au lycée ou plus (université)

La figure 4.2 donne la distribution des niveaux d'instruction des personnes de 6 ans et plus enquêtées dans les deux villages.

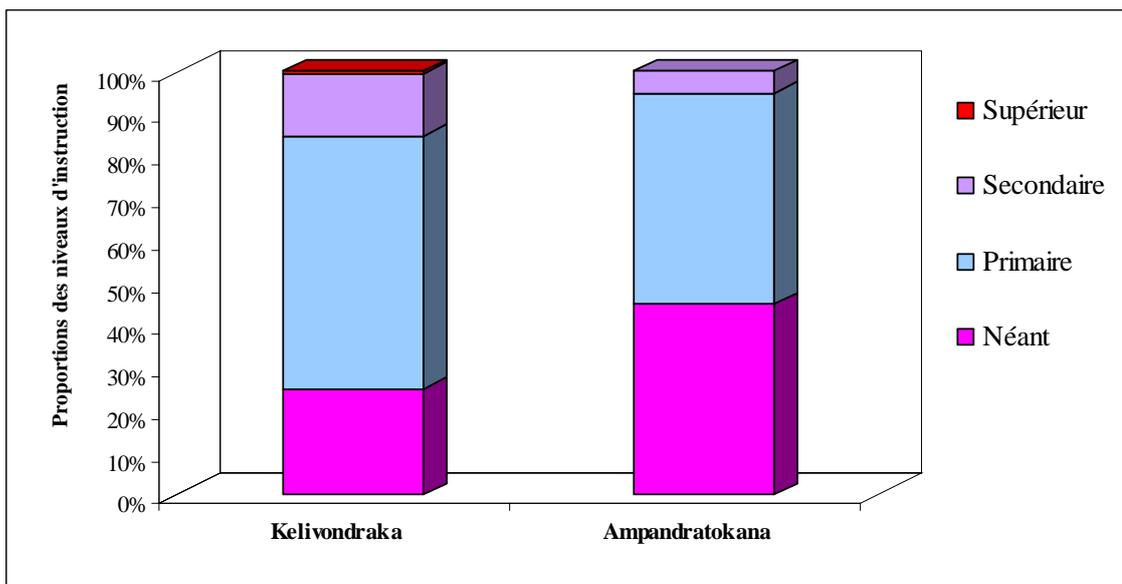


Figure 4.2 : Distribution des niveaux d'instruction chez les individus de 6 ans et plus dans les deux villages

Parmi les personnes enquêtées 40% n'ont jamais fréquenté l'école. Cette proportion est plus élevée que le taux national (34% chez les individus âgés de 10 ans et plus, lors du RGPH de 1993). La proportion d'individus sans instruction est plus marquée ($P < 0,01$) à Ampandratokana (45%) qu'à Kelivondraka (25%).

La part de personnes ayant un niveau d'instruction primaire est plus importante ($P < 0,05$) à Kelivondraka (60%) qu'à Ampandratokana (50%). Il en va de même pour le niveau secondaire qui concerne une part plus importante d'individus ($P < 0,01$) à Kelivondraka (15%) qu'à Ampandratokana (5%).

L'influence de l'appartenance ethnique sur l'absence d'instruction a été testée (Khi-2) pour l'ensemble des personnes des groupes ethniques bien représentés : *Betsileo* et *Merina* (28%, $n = 29$) et *Antandroy* (44%, $n = 210$), et la différence est significative ($P < 0,01$). De plus, la proportion d'individus des Hautes Terres ayant un niveau primaire (64%) est supérieure ($P < 0,01$) à celle des *Antandroy* (50%).

Ces deux indicateurs montrent que les *Antandroy* sont moins instruits que les personnes des Hautes Terres. Cette différence pourrait être liée au fait que les écoles sont moins nombreuses dans le Sud (*Androy*) que sur les Hautes Terres.

IV- Les terroirs villageois

Parce que les relations des villageois avec leur milieu déterminent les contacts à l'eau sans lesquels la schistosomose intestinale ne peut être transmise, l'étude de l'espace de vie des populations est nécessaire dans notre approche géographique. Après avoir précisé l'échelle et les outils d'analyse, nous comparons les types d'occupations de l'espace dans nos deux villages, afin de décrire l'organisation de leurs terroirs.

IV.1- Le terroir : un espace adapté à l'étude des contacts homme-eau

IV.1.1- Le terroir, espace de vie

Le terroir est l'espace de vie des populations. Il conditionne les occupations du sol, les activités, les déplacements. Il influe également sur les relations avec les milieux hydriques et donc les lieux et les modalités par lesquels les hommes peuvent être infestés par le schistosome ou l'introduire.

L'étude à l'échelle du terroir permet d'identifier les objets géographiques qui nous intéressent particulièrement, à savoir les milieux hydriques. Le terroir caractérisé «d'espace vécu» par Di Meo (1998) suppose pour les géographes

spécialistes des pays tropicaux, du point de vue administratif, une emprise collective, à caractère juridique, que les groupes humains mobiles sont loin de toujours affirmer sur l'espace environnant (Sautter & Pelissier, 1964). Dans notre région d'étude où la propriété foncière et les limites administratives sont difficiles à établir, il faut donc s'accorder une définition plus ouverte du mot terroir. La définition qui assimile le terroir à « l'étendue de terre appropriée et plus ou moins complètement exploitée par une communauté agricole (village, hameau) » (Brunet *et al.*, 1992) semble mieux convenir. Cependant le terroir, tel que nous le considérons dans notre étude, ne correspond pas à l'espace de toutes les ressources et de tous les échanges. Des villageois franchissent régulièrement les frontières de ce cadre spatial en fréquentant des espaces que nous désignerons sous le terme de « hors-terroir ». La pratique de la pêche dans la rivière Ihosy par les villageois d'Ampandratokana en est une illustration.

IV.1.2- Outils de l'analyse spatiale

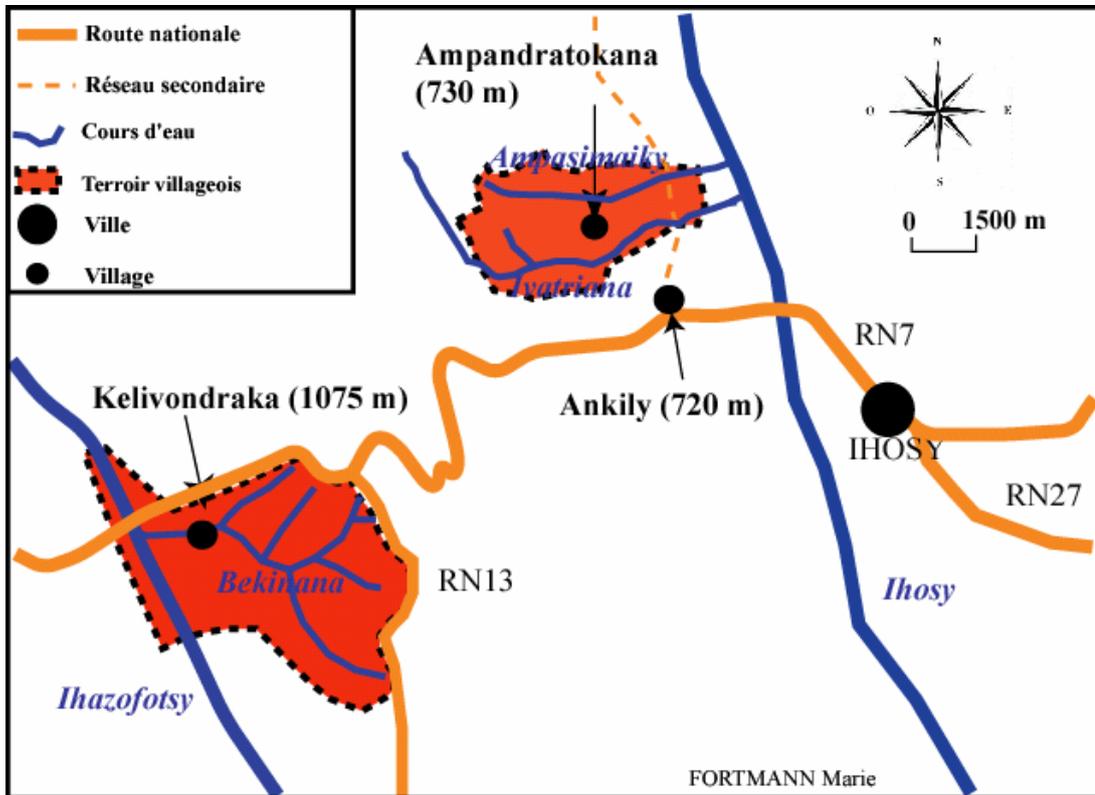
Dans notre étude les limites de terroirs ont été déterminées à partir de discussions auprès des autorités villageoises, de repérages sur les feuilles topographiques 1/100 000 «Ihosy-Nord » et « Ihosy-Sud » éditées par l'Institut Géographique et Hydrographique National Malgache (Foiben Taosarintanin'i Madagasikara ; FTM). Mais ce sont surtout des relevés précis au GPS, et l'interprétation de photos aériennes par stéréoscopie qui ont été la base de ce travail (Kelivondraka : photos 1 à 4 de la mission FTM 273/150 de 1972, au 1/15 000 et 345 à 348 de la mission 259/125 de 1971, au 1/12 500 ; Ampandratokana : photos 1435 à 1437 de la mission IGN-FTM 99/500 de 1991, au 1/50 000) ; aucun de ces villages n'a bénéficié d'une couverture aérienne plus récente.

Les photos aériennes ont été orthorectifiées (correction géométrique des déformations optiques dues à la prise de vue) puis géoréférencées à l'aide des points GPS. La digitalisation ainsi que l'analyse spatiale des différents objets géographiques ont été réalisées sur cette base. Le manque de moyens ne nous a pas permis de créer un modèle numérique de terrain (MNT), inexistant sur notre zone d'étude.

IV.2- Des terroirs villageois très différents

La localisation et les limites des deux terroirs villageois (carte 4.1) prend en compte les espaces bâtis, les systèmes de production, les espaces naturels et les voies de communication.

L'étude des terroirs permet également de présenter globalement les différents milieux hydriques, qui feront l'objet d'une étude plus précise en relation avec la malacologie dans la partie III (chapitre 7).

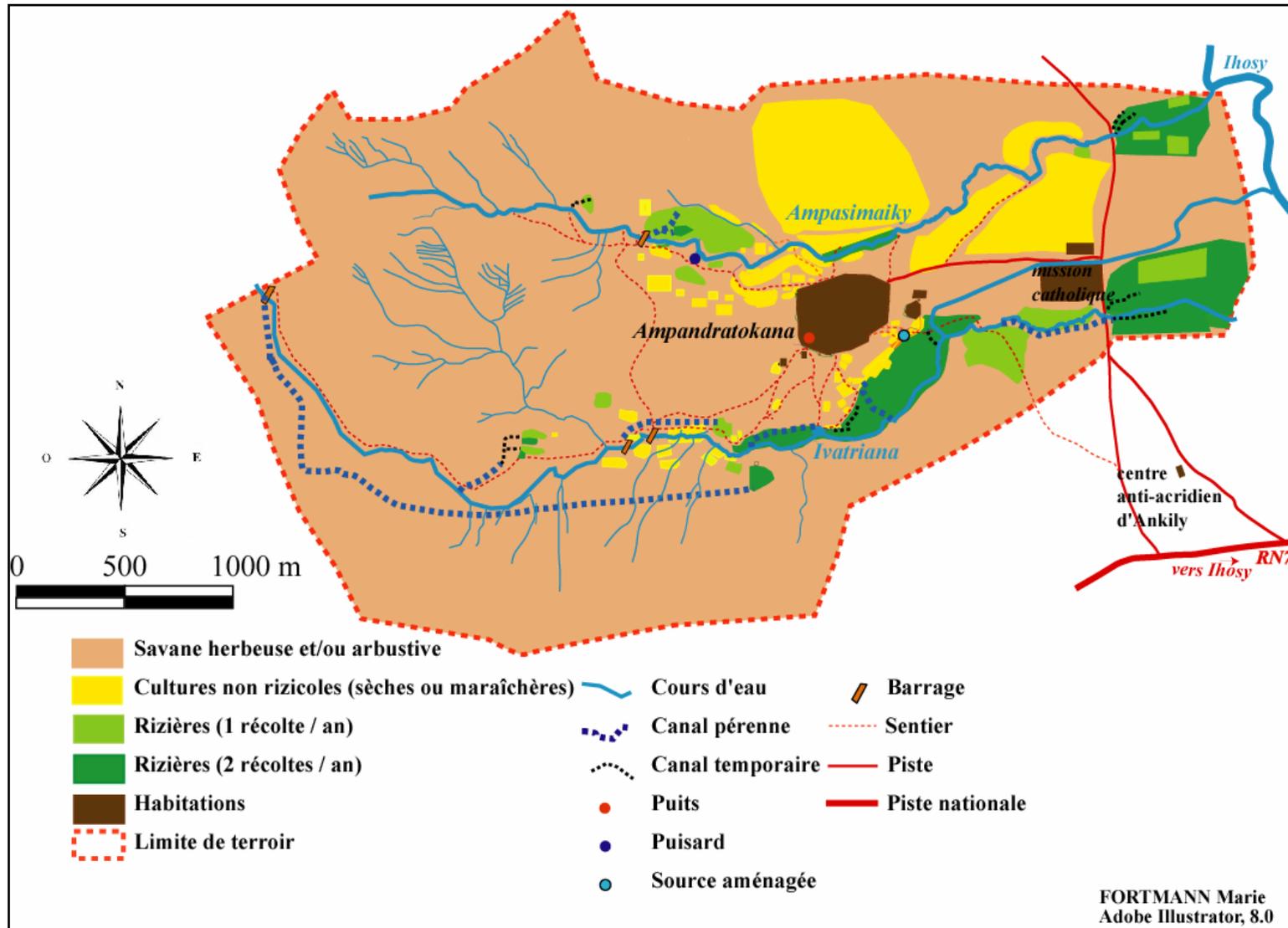


Carte 4.1 : Localisation et limites des terroirs des deux villages d'étude

IV.2.1- Description du terroir d'Ampandratokana

Le terroir du village est limité au Sud par la ligne de crête du versant (cf. chapitre 6), à l'Ouest par un barrage et au Nord par la limite du bassin-versant de la rivière Ampasimaiky (la source du bassin est incluse dans le terroir contrairement à la rivière Ivatriana), tandis que les autres limites, moins nettes, sont indiquées avec une précision toute relative par les villageois (carte 4.2).

Les habitations de ce village se présentent sous forme d'un bâti groupé auquel sont rattachés trois groupes de maisons plus dispersés à l'Est (2 sont proches du village tandis que le troisième est localisé près de la piste).



Carte 4.2 : Le terroir d'Ampandratokana en 2001

Les espaces autour du village d'Ampandratokana sont essentiellement agricoles, caractérisés, à proximité directe des habitations, par des cultures non rizicoles regroupant cultures sèches (maïs, manioc, arachide, tabac), sur *baiboho* et maraîchères (brèdes, tomates...). Près des deux cours d'eau Ivatriana (au Sud) et Ampasimaiky (au Nord), les espaces sont occupés par des périmètres rizicoles irrigués à simple et double récoltes et des cultures non rizicoles. Sur le bassin-versant de la rivière Ivatriana, les parcelles rizicoles s'étendent jusqu'à la piste d'Ankily et même en aval. Comparativement au bassin-versant d'Ampasimaiky, les terroirs rizicoles et les aménagements hydro-agricoles y sont plus développés. Des canaux pérennes et temporaires permettent d'irriguer les périmètres rizicoles, souvent aménagés à partir de retenues (3 sur la rivière Ivatriana et 1 sur la rivière Ampasimaiky). Un puisard creusé par un ménage sert à l'arrosage des cultures maraîchères sur le bassin-versant de la rivière Ampasimaiky. A l'ouest des périmètres irrigués, on trouve majoritairement des espaces non cultivés, recouverts d'herbacées et de quelques arbres et arbustes situés le long des drains des réseaux hydrographiques. Ils constituent les principales terres de pâture pour les zébus des villageois.

Un puits situé dans le village (réalisé et utilisé par deux ménages car propriété privée) ainsi qu'une "source" aménagée permettent l'approvisionnement en eau domestique.

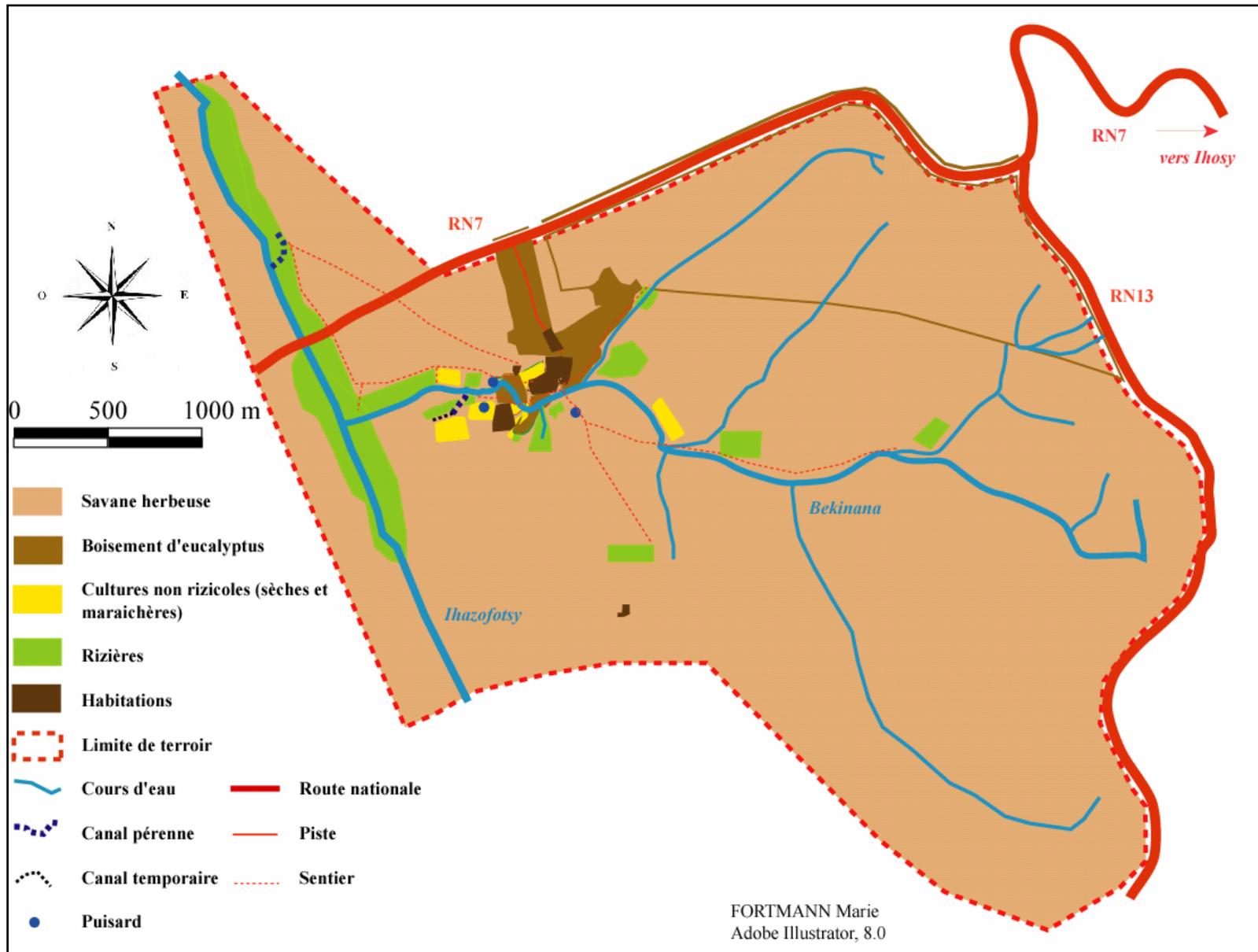
IV.2.2- Description du terroir de Kelivondraka

Le village est constitué d'un ensemble d'habitations partiellement groupé (séparation par la rivière) et de deux maisons très éloignées dans la partie sud du terroir non prises en compte dans notre enquête géographique.

Trois quartiers peuvent être distingués dans le village ;

- le premier de part et d'autre de la piste permettant l'accès au village ;
- le deuxième dans le boisement d'eucalyptus au nord de la Bekinana ;
- le troisième au sud-ouest de la rivière.

Le terroir du village de Kelivondraka est caractérisé par trois types de milieux (carte 4.3) ; la plantation d'eucalyptus (datant de l'époque de la présence française), qui s'étend jusqu'à la RN7, les périmètres rizicoles (à une récolte par an uniquement en raison des conditions climatiques défavorables en saison sèche : températures plus basses que dans la vallée d'Ihoso), les cultures non rizicoles (cultures sèches et maraîchères ; pas de cultures sur *baiboho*) et les espaces de savane herbacée.



Carte 4.3 : Le terroir de Kelivondraka en 2001

Immédiatement à l'est du village s'étendent de part et d'autre de la rivière Bekinana quelques parcelles rizicoles, certaines irriguées par des canaux temporaires et d'autres pluviales, ainsi que des cultures non rizicoles. Mais c'est à l'ouest du village que les espaces cultivés sont les plus importants, à proximité du cours principal pérenne de la rivière Bekinana jusqu'à la confluence avec l'Ihazofotsy, le long de laquelle des périmètres rizicoles ont également été aménagés. Ces périmètres rizicoles sont irrigués par des canaux traditionnels pérennes et temporaires.

Dans la partie est du terroir on observe des espaces non cultivés, composés d'herbacés et drainés par les affluents pérennes et temporaires de la rivière Bekinana.

Le village n'est équipé d'aucun puits, mais trois puisards servent à la collecte d'eau domestique.

IV.2.3- Comparaison des terroirs villageois

Les différents types d'occupation du sol sont utiles pour mesurer les divergences entre les structures des terroirs d'Ampandratokana et de Kelivondraka. Leur mesure ramenée à la superficie du terroir est donnée au tableau 4.6.

La superficie des terroirs a été estimée à partir des photos aériennes. Elle atteint respectivement 8,4 km² à Ampandratokana et 13,1 km² à Kelivondraka.

	Ampandratokana	Kelivondraka
Cultures rizicoles	6,0%	2,3%
Cultures non rizicoles	6,2%	0,3%
Forêt	0,0%	1,1%
Espaces herbacés	87,9%	96,2%
Total	100,0%	100,0%

Tableau 4.6 : Proportions des occupations du sol des terroirs des deux villages d'étude

La comparaison des occupations du sol montre que la proportion des surfaces rizicoles est trois fois plus importante à Ampandratokana, où l'activité agricole est un peu plus diversifiée au regard de la proportion plus élevée des cultures non rizicoles (taux d'occupation 20 fois plus élevé). Une autre différence dans l'occupation des sols tient à l'absence de forêt à Ampandratokana. A Kelivondraka, le boisement d'eucalyptus entourant le village n'est pas exploité à des fins commerciales (charbon de bois) par les habitants qui le gèrent à des fins personnelles. La quasi totalité des deux

terroirs est cependant constituée d'étendues herbacées (10% de plus à Kelivondraka, mais ces espaces sont peu exploités dans ce village, où l'élevage est devenu marginal).

Au terme de ce chapitre concernant pour partie les caractéristiques socio-démographiques des populations enquêtées, plusieurs résultats apparaissent représentatifs au vu du taux de participation excellent à l'enquête. La comparaison des effectifs des populations recensées met en évidence la différence de taille des deux villages : Ampandratokana compte trois fois plus d'habitants que Kelivondraka. La structure démographique (majorité d'individus adultes) et l'appartenance ethnique des populations (*Antandroy*, *Betsileo*, *Merina* et *Antaisaka* majoritairement) montrent l'importance de l'immigration qui s'est produite en différentes phases (la première étant surtout due à l'implantation de structures étrangères à proximité tandis que la seconde est plus liée à la sécheresse de 1990-91 dans le Sud). Toutefois, la structure ethnique diffère dans les deux villages avec une très grande majorité d'*Antandroy* à Ampandratokana, contrastant avec une répartition plus équilibrée entre *Antandroy*, *Betsileo*, *Merina* et *Antaisaka* à Kelivondraka. Cette composition ethnique sera à prendre en compte dans l'analyse des activités, tout comme les facteurs démographiques et le taux de scolarisation élevé. Le niveau d'instruction renseigné auprès des individus de plus de 6 ans met en évidence des disparités intervillageoises, avec des connaissances "primaires" plus importantes à Kelivondraka.

L'étude des terroirs a permis de mieux connaître le milieu de vie, les activités et les ressources des populations. A Ampandratokana, une polyculture plus développée est le reflet de conditions naturelles favorables (climat, terres, ressources en eau), du dynamisme des populations et de la proximité immédiate d'Ihosy. Cette image contraste avec le milieu naturel peu favorable du village de Kelivondraka et l'insécurité importante qui a conduit les villageois à diminuer l'activité la plus adaptée à leur milieu, l'élevage.

PARTIE III

IMPACT DES FACTEURS HYDRO-CLIMATIQUES SUR L'HOTE INTERMEDIAIRE DE *S. MANSONI*

Nous avons vu (partie I) qu'à Madagascar, la transmission de la schistosomose intestinale implique obligatoirement comme mollusque hôte intermédiaire *B. pfeifferi*, qui se développe préférentiellement dans les milieux d'eau douce pérennes et calmes.

De nombreuses recherches ont été menées ces cinquante dernières années (WHO, 1957 ; Abdel Malek, 1958 ; Appleton, 1978 ; Utzinger *et al.*, 1997) sur les facteurs abiotiques et biotiques pouvant influencer le développement de ce planorbe, qui semble présenter un « champ écologique » relativement large. Ce mollusque a en effet été trouvé dans des milieux hydriques très variés (canaux, lits de petites rivières, barrages, drains...). Même s'il semble encore aujourd'hui difficile de donner un seul paramètre environnemental fiable pour prévoir la présence ou l'absence du mollusque dans un milieu hydrique (Schutte & Franck, 1964 ; Vercruysse *et al.*, 1994), le régime pluviométrique, la température, la vitesse du courant, la végétation aquatique, l'ombrage et les propriétés physico-chimiques de l'eau sont des facteurs connus pour influencer le développement de *B. pfeifferi*.

La connaissance des caractéristiques des milieux susceptibles d'héberger le planorbe est fondamentale.

Dans cette partie, nous présenterons tout d'abord une analyse des facteurs climatiques (chapitre 5) et hydrologiques (chapitre 6) dans nos deux villages. Puis nous aborderons, en nous appuyant sur la représentation cartographique de l'occurrence et des effectifs des mollusques hôtes intermédiaires en fonction des saisons, l'analyse de l'influence des facteurs hydro-climatiques sur la dynamique spatio-temporelle des populations de *B. pfeifferi* (chapitre 7).

-CHAPITRE 5-

LES FACTEURS CLIMATIQUES : TEMPÉRATURES ET PRÉCIPITATIONS

Les températures de l'air et les précipitations sont considérées comme les principaux facteurs climatiques influençant la genèse des écoulements, la dynamique hydrologique. L'absence de données climatiques régionales récentes et la méconnaissance de ces facteurs dans le village d'Ampandratokana nous ont conduit à effectuer des mesures de températures et de hauteurs d'eau dans nos deux villages d'étude, afin d'une part de réaliser une caractérisation du contexte climatique, et d'autre part d'éclairer les facteurs influençant les fluctuations des effectifs des populations de mollusques hôtes intermédiaires et donc la dynamique de la transmission parasitaire.

Dans le cadre de notre problématique, nous nous intéressons particulièrement aux valeurs minimales (T_n) et maximales (T_x) des températures de l'eau, qui peuvent correspondre à des valeurs-seuils influençant la survie et le développement du mollusque *B. pfeifferi* (cf. chapitre 1). L'étude de l'influence de la température de l'eau sur le développement de *B. pfeifferi* a largement été développée en laboratoire (Standen, 1951 ; WHO, 1957 ; Sturrock, 1965, 1966 ; Brygoo, 1967 ; Appleton, 1977, 1978 ; Roze, 1978 ; Appleton & Errikson, 1984 ; Doumenge & Reaud-Thomas, 1988) et plusieurs observations ont également été faites sur le terrain, à Madagascar (Grjebine & Menache, 1953 ; Capron & Brygoo, 1959 ; Pflüger, 1977 ; Locheron *et al.*, 1981), en Afrique du Sud (Schutte & Franck, 1964 ; De Kock *et al.*, 2004) et au Sénégal (Ernould, 1996).

Dans ce chapitre, nous analyserons en premier lieu les profils thermiques dans l'air (car influent sur la température de l'eau) et dans l'eau, à partir des températures minimales et maximales dans les deux villages. Ces profils permettent de déterminer les moments les plus chauds et les plus froids à l'échelle de la journée et des saisons. Les températures extrêmes (minimales et maximales) de l'eau ponctuelles seront confrontées en second lieu aux résultats des études déjà menées, afin d'estimer dans quelle mesure elles peuvent influencer la reproduction et la survie de *B. pfeifferi*.

Une analyse de la dynamique spatio-temporelle des précipitations sera développée en second lieu, car les pluies jouent également un rôle important dans la dynamique spatio-temporelle de la transmission, à travers les écoulements qu'elles peuvent générer. Cette étude, à grande échelle, nécessite de disposer de données locales, d'autant que la topographie escarpée de la zone d'étude (rebord oriental du plateau de l'Horombe) peut laisser présager des variations tant qualitatives (références horaires, durée, extension spatiale) que quantitatives (cumul) des précipitations. L'examen des cumuls pluviométriques sera abordé à différentes échelles temporelles (annuelle, saisonnière, mensuelle) dans les deux villages avant d'analyser l'évolution spatio-temporelle des épisodes pluvieux. Les variations d'intensité des pluies dans la vallée d'Ihosy seront étudiées rapidement sur la base de quelques épisodes enregistrés par le pluviographe d'Ankily. La relation de ces averses avec les épisodes de crue qu'elles peuvent générer permettra d'estimer les temps de réponse (chapitre 6).

I- Les températures

I.1- Profils thermiques dans les deux villages

Le rôle connu de l'influence des températures sur le développement de *B. pfeifferi* et du parasite *S. mansoni* justifie d'étudier les températures dans les deux villages. Après avoir présenté la collecte et le traitement des données, l'étude sera réalisée dans un premier temps à partir de profils thermiques, afin de situer le contexte thermique général. Dans un second temps notre analyse portera sur les températures de l'eau ponctuelles extrêmes et leur comparaison avec les valeurs-seuils influençant la survie et le développement de *B. pfeifferi*.

I.1.1- Collecte et traitement des données

Les températures de l'air et de l'eau ont été mesurées entre le 06/06/01 et le 25/02/02, lors des 13 campagnes de prospections malacologiques. Les relevés n'ont pas pu être effectués au début de l'étude (à partir de mars 2001) en raison de problèmes logistiques (les 3 premières campagnes n'ont pas fait l'objet de relevés de température). Cet intervalle permet néanmoins de prendre en considération les périodes les plus fraîches (juillet-août) et une bonne partie des plus chaudes.

Les données de températures (air et eau) pouvant être assez variables à l'échelle journalière mais aussi dans l'espace, nous avons préféré coupler les relevés de températures aux prospections malacologiques plutôt qu'aux mesures hydroclimatiques. Ce choix s'inscrit dans l'optique d'apprécier au plus près l'influence des températures sur les populations des mollusques hôtes intermédiaires.

Les mesures ont été réalisées au niveau des nombreuses collections d'eau ou stations, correspondant à divers biotypes hydriques ; 56 dans la vallée d'Ihosy à Ampandratokana (730 m) et 35 sur le plateau de l'Horombe à Kelivondraka (1075 m).

Les mesures sont réalisées à l'aide d'un thermomètre à sonde à affichage numérique. La température de l'eau est relevée à 10 cm sous la surface de l'eau et la température de l'air est mesurée avec la sonde parfaitement sèche, à un mètre du sol et à l'ombre. La date et l'heure sont notées lors de chaque mesure.

Plusieurs recherches (Ernould, 1996 ; Sturrock *et al.*, 2001) ont montré qu'il pouvait y avoir des différences épisodiques des températures de l'eau entre des sites correspondant à différents biotopes (rivière, marigot, canal primaire, canal secondaire...), mais le plus souvent ces différences étaient dues à un biais lié à l'horaire de collecte des données selon les sites. Par ailleurs, une étude menée à Richard-Toll au Sénégal (Sturrock *et al.*, 2001) a mis en évidence que la température moyenne mesurée sur une longue période (dans cette étude 3 ans) dans différents biotopes n'est pas très différente de la moyenne des températures dans ces derniers.

Le traitement des données repose sur l'établissement de profils thermiques minimaux (Tn) et maximaux (Tx), à partir de valeurs moyennes bihoraires (07h-09h, moyenne des valeurs horaires 07h-08h et 08h-09h ; 13h-15h, moyenne des valeurs horaires 13h-14h et 14h-15h), pour l'air et pour l'eau. Dans ce dernier cas, les valeurs horaires sont déterminées en faisant abstraction des différents biotopes prospectés, afin d'avoir un aperçu général (calcul à partir des températures mesurées aussi bien dans un canal que dans un cours d'eau ou une retenue).

I.1.2- Profils thermiques comparés

L'étude des profils thermiques minimaux et maximaux de l'air et de l'eau permet de caractériser le contexte climatique des deux villages et de les comparer. Les températures minimales et maximales revêtent une importance capitale dans notre étude, beaucoup plus que les températures moyennes, car elles peuvent dépasser des valeurs-seuils de températures perturbant le développement des hôtes intermédiaires.

I.1.2.1- Profils journaliers

L'évolution des profils moyens bihoraires des températures de l'air et de l'eau à l'échelle de la journée montre dans chacun des villages une augmentation de la température, du début de la matinée (T_n), au début de l'après-midi (T_x), puis une diminution en fin d'après-midi (figure 5.1).

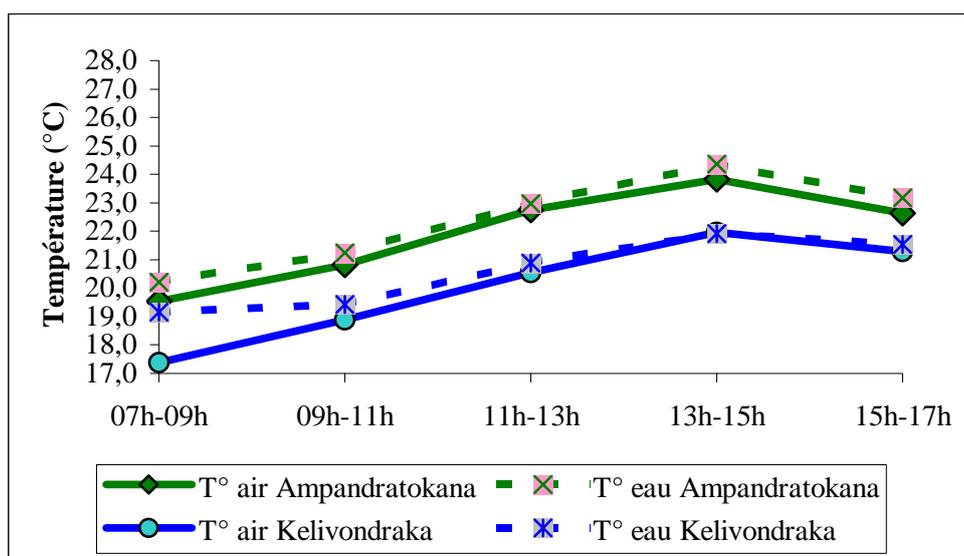


Figure 5.1. : Profils thermiques moyens bihoraires air/eau sur la période de mesure à Ampandratokana et Kelivondraka

La figure 5.1 montre également que la courbe de température de l'eau suit bien celle de la température de l'air, en étant légèrement au-dessus quelle que soit l'heure de la journée. Elle met en évidence des températures plus élevées à Ampandratokana qu'à Kelivondraka.

I.1.2.2- Profils sur la période de mesures

La figure 5.2 illustre, à l'échelle de notre période de mesures cette fois, l'évolution des températures minimales et maximales bihoraires moyennes de l'air et de l'eau à Ampandratokana.

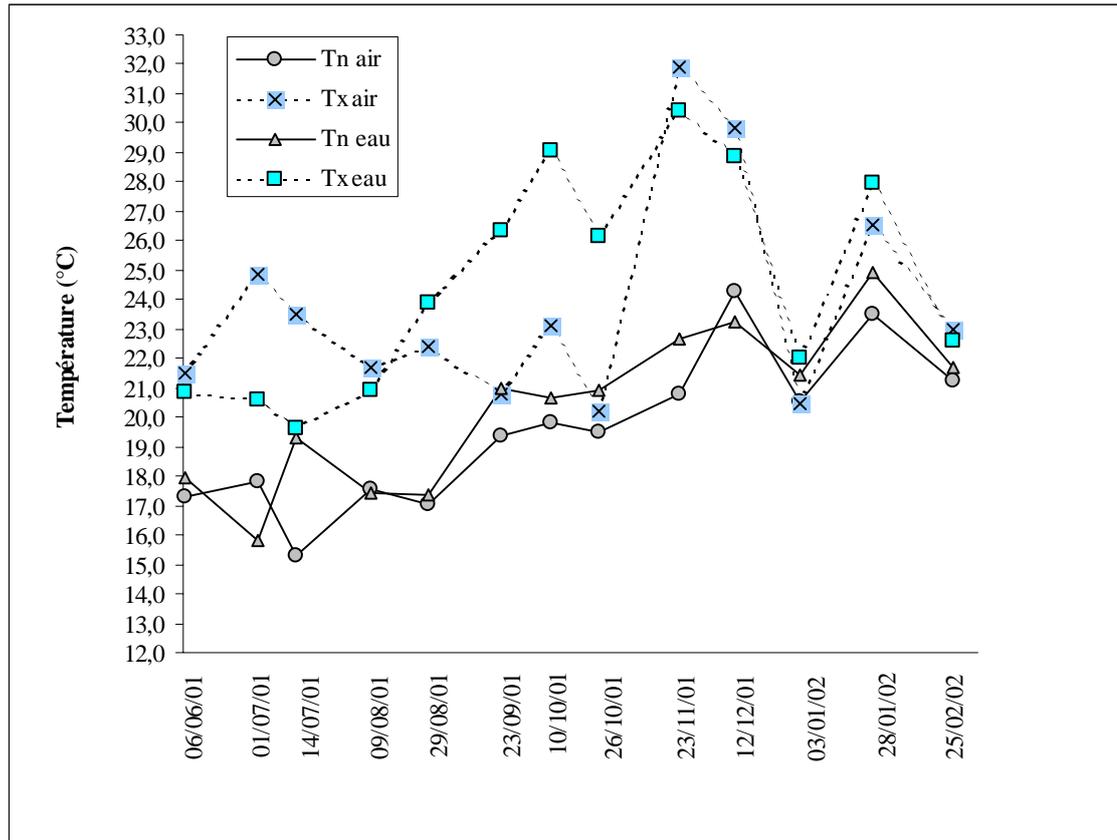


Figure 5.2 : Evolution des températures minimales (Tn : 07-09 h) et maximales (Tx : 13-15 h) de l'air et de l'eau à Ampdratokana

Les températures de l'air et de l'eau augmentent globalement à partir de juin pour atteindre un maximum à la fin novembre et mi-décembre. Le pic pour les températures maximales (Tx) de l'air et de l'eau (le 23/11/01) dépasse les 30°C (T° air = 31,9°C ; T° eau = 30,4°C). Les valeurs les plus basses (Tn) sont enregistrées dans l'eau le 01/07/01 (15,8°C) et dans l'air le 14/07/01 (15,3°C). Cette variation saisonnière des températures de l'air de l'année 2001-2002 est conforme à l'évolution des températures de l'air (figure 5.3) mesurées à Ihosy durant la période de référence 1961-1990, et où les températures maximales (Tx) dépassent les 30°C en novembre et décembre, période où le soleil est au zénith (solstice d'été le 21 décembre) et les températures minimales (Tn) sont en-dessous de 12°C au mois de juin.

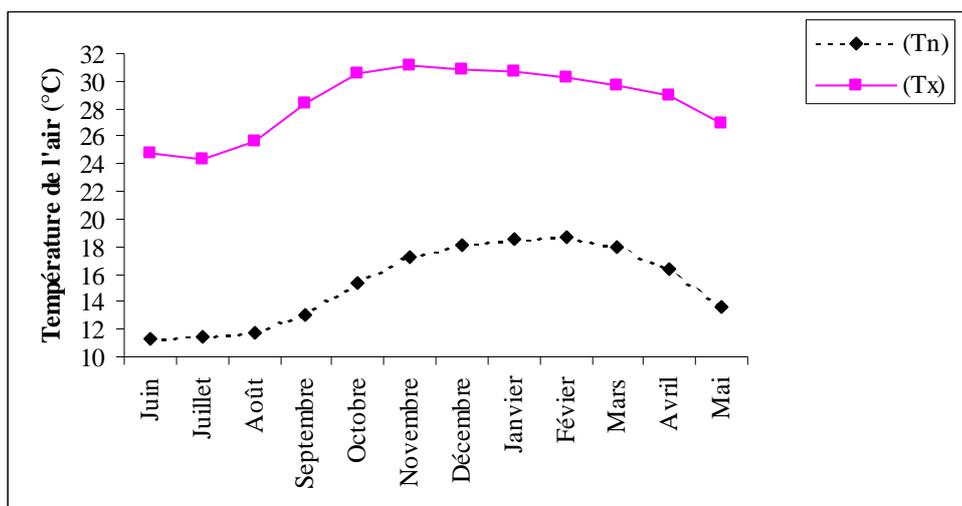


Figure 5.3 : Températures minimales (Tn) et maximales (Tx) de l'air sur la période moyenne (1961-1990) à la station d'Ihozy (sources : Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar)

Les températures de l'air et de l'eau à Ampandratokana enregistrent deux chutes en saison humide :

- la première entre la mi-décembre et le début du mois de janvier 2002 est importante ($-9,4^{\circ}\text{C}$ pour la température maximale de l'air et $-6,9^{\circ}\text{C}$ pour celle de l'eau) ; elle est liée au passage de la forte tempête tropicale « Cyprien » qui a balayé la région le 2 janvier 2002 ;

- la seconde entre la fin du mois de janvier et la fin du mois de février ($-3,6^{\circ}\text{C}$ pour la température maximale de l'air et $-5,4^{\circ}\text{C}$ pour celle de l'eau) ; elle est due à une recrudescence des précipitations (à la mi-janvier les précipitations ont enregistré une rémission, accompagnée d'une augmentation des températures constatée fin janvier) et durant le mois de février 2002 (cf. II.2.2).

Les variations des températures maximales sont beaucoup plus importantes que celles des températures minimales. Les températures maximales de l'air sont inférieures à celles de l'eau d'août à novembre et de janvier à février et supérieures de juin à août et de novembre à début janvier. Les températures minimales de l'air sont le plus souvent inférieures à celles de l'eau.

La figure 5.4 présente l'évolution des températures minimales et maximales de l'air et de l'eau à Kelivondraka, durant la période de mesures.

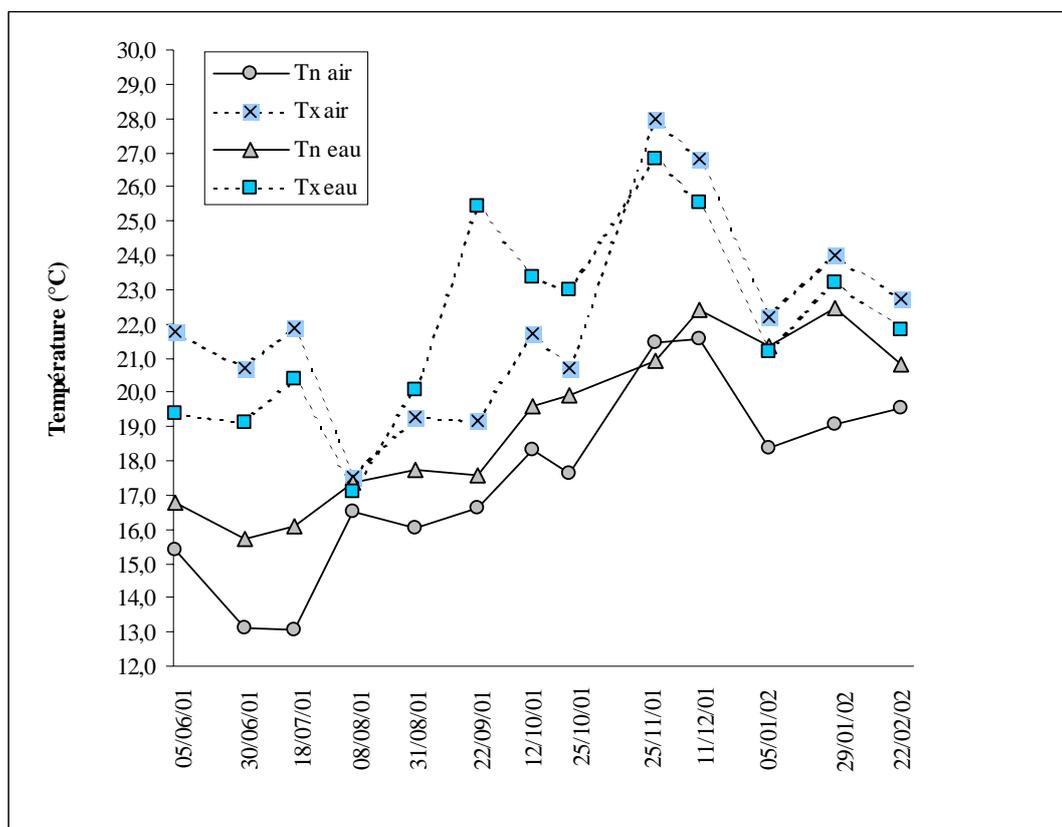


Figure 5.4 : Evolution des températures minimales (Tn : 07-09 h) et maximales (Tx : 13-15 h) de l'air et de l'eau à Kelivondraka

L'évolution saisonnière est similaire à celle décrite à Ampandratokana, exceptée une chute des températures de l'air et de l'eau entre le 18/07/01 et le 08/08/01 qui n'est constatée qu'à Kelivondraka. Cette variation négative s'explique par un épisode pluvieux localisé sur ce village le 06/08/01. Par ailleurs, le début de la hausse des températures est retardé d'un mois à Kelivondraka (août) par rapport à Ampandratokana (juillet).

Les températures maximales sont inférieures à celles d'Ampandratokana, atteignant 28°C pour l'air et 26,8°C pour l'eau au mois de novembre. Les températures minimales sont de 13,1°C pour l'air (juin-juillet) et 15,7°C pour l'eau.

Les températures maximales de l'air sont inférieures aux températures maximales de l'eau d'août à octobre et supérieures de juin à août et de novembre à février.

La comparaison inter-villageoise des profils thermiques montre une variation saisonnière similaire, au vu des faibles distances entre les deux villages. Cette dernière se caractérise par une hausse à partir du milieu de la saison sèche jusqu'à la mi-décembre et deux chutes importantes début janvier et fin février.

I.2- Variations des températures de l'eau et comparaison avec les valeurs-seuils influençant *B. pfeifferi*

Après avoir décrit les variations des profils thermiques minimaux et maximaux et montré qu'elles diffèrent de manière saisonnière, nous allons considérer plus précisément les températures extrêmes (minimales et maximales) de l'eau, afin de pouvoir estimer dans quelle mesure ces variables dépassent les valeurs-seuils influençant le développement de *B. pfeifferi* (cf. chapitre 1) et peuvent expliquer les variations dans les effectifs des populations de mollusques (chapitre 7). Nous rappelons brièvement que la reproduction des mollusques est favorable entre 18°C et 28°C et que la survie est difficile au-delà de 32°C.

L'analyse se base à la fois sur les profils thermiques extrêmes de l'eau, que nous reprenons rapidement avec un intervalle de confiance de 5%, pour déterminer les périodes favorables et défavorables au développement de *B. pfeifferi*, et à la fois sur des valeurs ponctuelles des températures extrêmes.

I.2.1- Profils thermiques dans l'eau

Nous rappelons à la figure 5.5 les températures bi-horaires minimales et maximales de l'eau à Ampandratokana, en indiquant un intervalle de confiance à 5%, car ce sont des valeurs moyennes.

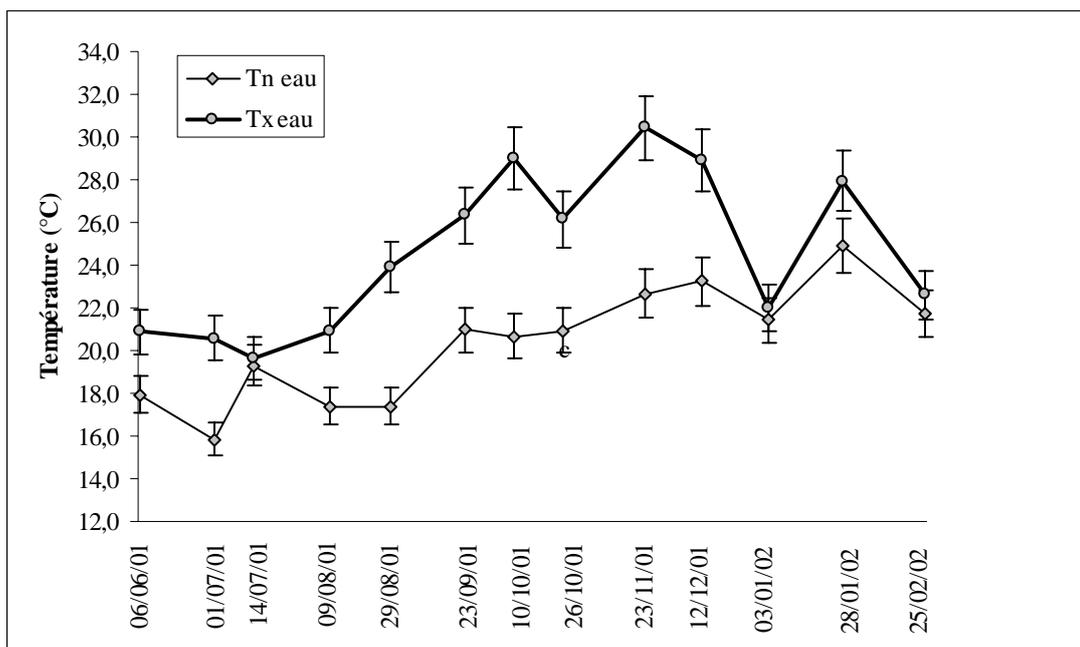


Figure 5.5 : Températures minimales (Tn : 07-09h) et maximales (Tx : 13-15h) de l'eau à Ampandratokana (intervalle de confiance à 5%)

Durant la période de juin à août 2001 les températures de l'eau minimales moyennes sont relativement basses et souvent inférieures au seuil de 18°C à Ampandratokana, ce qui laisse présumer une faible activité reproductrice des mollusques hôtes intermédiaires durant cette période.

D'août à fin septembre 2001 les températures minimales augmentent tout comme les températures maximales qui ne dépassent pas trop fréquemment le seuil de 28°C. Cette période est donc favorable à la reproduction des mollusques. En revanche, de novembre à la mi-décembre les températures maximales moyennes augmentent et sont supérieures à 28°C. Cette période présente donc des températures maximales défavorables à la reproduction du mollusque.

La figure 5.6 donne les températures bi-horaires minimales et maximales de l'eau à Kelivondraka, en indiquant un intervalle de confiance à 5%, car ce sont des valeurs moyennes.

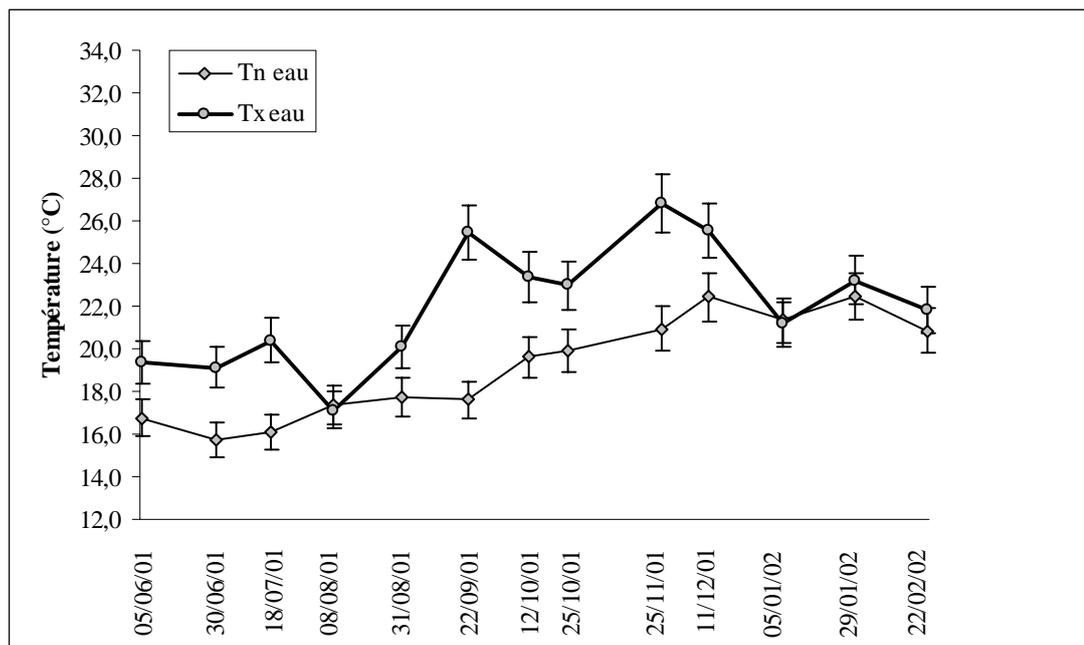


Figure 5.6 : Températures minimales (Tn :07-09h) et maximales (Tx :13-15h) de l'eau à Kelivondraka (intervalle de confiance à 5%)

A Kelivondraka les températures bihoraires minimales sont inférieures à 18°C de juin à fin septembre 2001, ce qui traduirait une période à faible activité reproductrice plus longue qu'à Ampandratokana. Les températures minimales augmentent régulièrement pour se stabiliser autour de 21°C jusqu'à la fin de la période d'étude, tandis que les températures maximales moyennes atteignent leur maximum fin novembre 2001, sans dépasser les 28°C. Les températures maximales ne semblent donc pas être un facteur limitant au développement des mollusques à Kelivondraka.

I.2.2- Températures minimales et maximales ponctuelles

Si nous avons décrit les caractéristiques thermiques dans l'eau sur la base de valeurs bi-horaires moyennes, l'étude de l'influence potentielle des températures de l'eau sur les variations des effectifs de mollusques nécessite de prendre aussi en compte les valeurs mesurées ponctuellement au moment des prospections malacologiques. Ces dernières illustrent les conditions thermiques réelles, pour lesquelles les hôtes intermédiaires sont présents ou non.

Durant la période fraîche de juin à août 2001 les températures minimales sont plus fréquemment inférieures à 18°C à Kelivondraka qu'à Ampandratokana. Ponctuellement on a relevé des valeurs de 14,6°C et de 15,3°C lors de la mission du 01/07/01 à

Ampandratokana, alors que l'on a relevé à 9 reprises des valeurs inférieures à 14°C durant les prospections du 30/06/01, 18/07/01 et 08/08/01 à Kelivondraka.

Durant la période d'août à octobre, deux relevés seulement sont supérieurs à 28°C entre 13h et 15 h le 23/09/01 à Ampandratokana, tandis que de fin octobre à la mi-décembre les températures dépassent fréquemment le seuil des 28°C, défavorable à la reproduction de *B. pfeifferi*. Lors de la mission du 23/11/01, 10 relevés ont été supérieurs à 28°C et le seuil de 32°C, limitant la survie des mollusques, a été dépassé 2 fois.

A Kelivondraka, seuls 2 relevés supérieurs à 28°C sont enregistrés durant la mission du 25/11/01.

Ces différents résultats ont une importance capitale et peuvent dès à présent nous faire émettre l'hypothèse que les conditions thermiques maximales sont moins favorables au maintien des populations de mollusques à Ampandratokana qu'à Kelivondraka durant la saison humide. En revanche, si les températures maximales dépassent rarement 28°C à Kelivondraka, les températures minimales inférieures à 18°C de juin à fin septembre 2001 peuvent laisser présager une période de faible reproduction plus longue en saison sèche qu'à Ampandratokana.

II- Les précipitations

Selon WHO (1957) « les cycles des précipitations sont parmi les plus importants des facteurs climatiques qui influent sur la vie des mollusques hôtes intermédiaires des schistosomes. Les crues dues aux pluies sont souvent nuisibles car elles emportent les mollusques, modifient leur milieu, et parfois sont la cause d'un abaissement de température suffisant pour interrompre la prolifération».

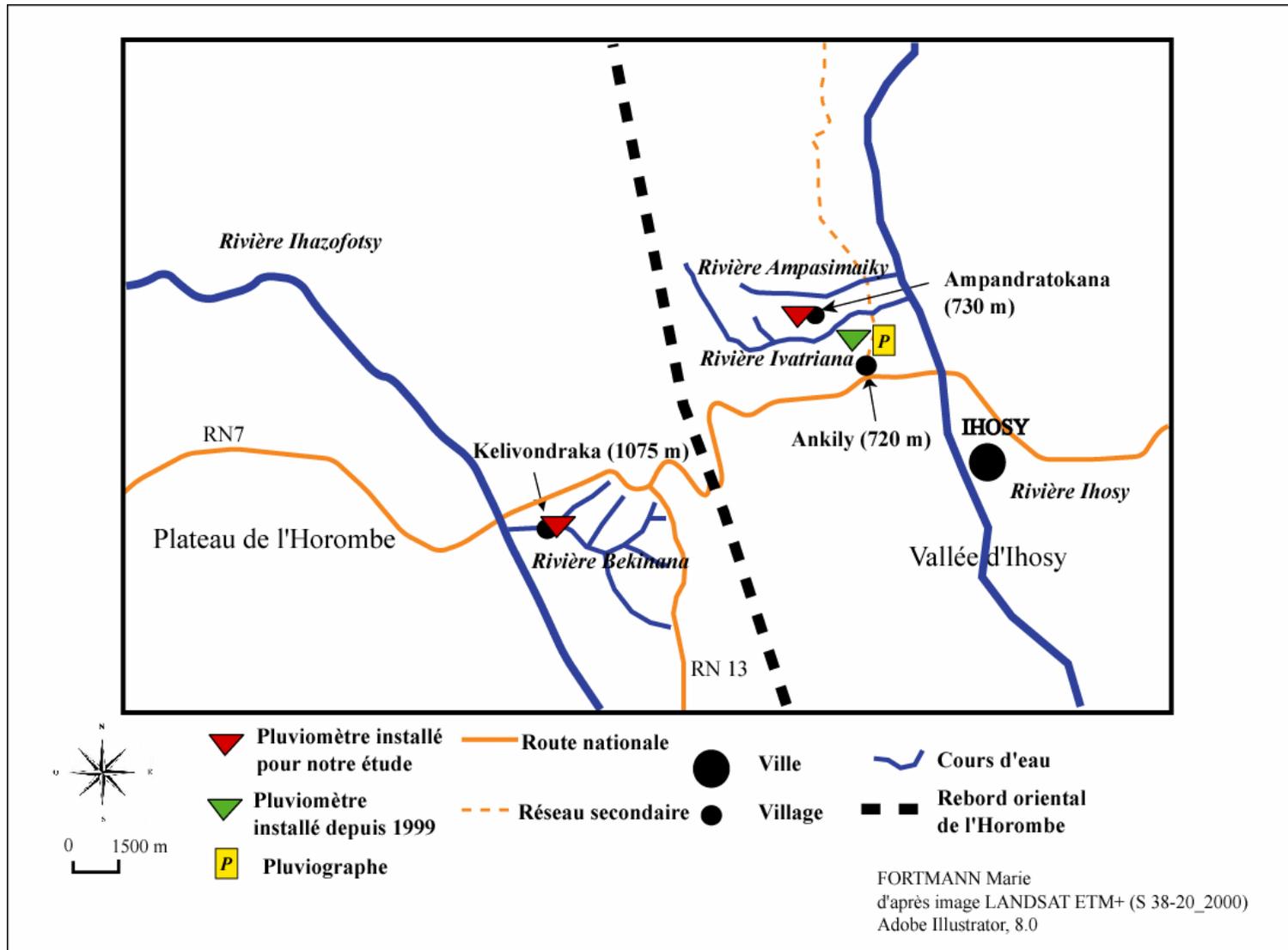
II.1- Collecte et traitement des données

A Kelivondraka et à Ihosy, une station pluviométrique de la Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar a fonctionné de 1961 à 1990. Nous rappelons (chapitre 2) que les précipitations annuelles moyennes sur la période de référence 1961-1990 sont de 829 mm à la station d'Ihosy et de 868 mm à la station de Kelivondraka.

Au début de nos recherches, aucun appareil de mesure n'était implanté à Ampandratokana. Un pluviomètre, installé au centre anti-acridien d'Ankily (carte 5.1), à 1,5 km au sud-est d'Ampandratokana (46°04'91''E ; 22°22'96''S ; altitude 720 m), dans la vallée d'Ihosal, était fonctionnel depuis 1999 mais nous n'avons pas eu accès aux données.

II.1.1- Collecte des données

Pour notre recherche, nous avons pu utiliser un pluviographe et deux pluviomètres. Ces appareils de mesure ont été installés (carte 5.1) dans trois sites (respectivement centre anti-acridien d'Ankily, village d'Ampandratokana et village de Kelivondraka) que nous avons choisis en tenant compte de critères techniques (emplacements selon les normes de l'OMM), de sécurité (risque de vol) et d'accessibilité (trois relevés quotidiens pour les pluviomètres). La distance entre les deux pluviomètres que nous avons installés est de 7,5 km. Les distances respectives entre le pluviomètre et le pluviographe à Ankily et les pluviomètres à Ampandratokana et à Kelivondraka sont de 1,5 km et 8 km.



Carte 5.1 : Emplacement des appareils de mesures pluviométrique et pluviographique à Ampandratokana et Ankily (vallée d'Ithosy) et à Kelivondraka (plateau de l'Horombe)

II.1.1.1- Données pluviométriques

Nous avons installé le 21/01/01, sous enclos grillagés, deux pluviomètres composés chacun d'un pied, d'un cône de réception amovible (de 400 cm²) et d'une éprouvette graduée :

- l'un au village d'Ampandratokana, à proximité de l'école (46°04'95''E ; 22°22'61''S ; altitude 730 m) ;
- l'autre au village de Kelivondraka, à proximité de l'église (46°01'01''E ; 22°25'36''S ; altitude 1075 m).

Les mesures pluviométriques ont été faites de février 2001 à mars 2002, quotidiennement à 06h, 12h et 18h, le relevé de 18h permettant de différencier la pluie diurne de la pluie nocturne.

II.1.1.2- Données pluviographiques

Les données pluviométriques ne permettent pas de déterminer de manière précise la durée et l'intensité des épisodes pluvieux. Toute information précise concernant ces variables (durée, intensité) ne peut être fournie que par un pluviographe, dont il faut souligner le caractère indispensable pour une analyse de la dynamique actuelle en milieu tropical (Michel, 1969).

Nous avons installé un pluviographe à augets basculeurs (bague pluviométrique de 400 cm², à rotation hebdomadaire) le 12/02/01 à côté du centre anti-acridien d'Ankily (carte 5.1), où les conditions de sécurité étaient satisfaisantes (personnel en permanence). Il a été placé près du pluviomètre déjà implanté. En raison de la distance importante (8 km) entre le site d'Ankily et celui de Kelivondraka, les données d'Ankily ne peuvent pas être comparées à celles de Kelivondraka. En revanche, la comparaison peut être faite avec le site d'Ampandratokana, distant de 1,5 km.

Les enregistrements pluviographiques ont été réalisés du 12/02/01 au 28/02/02, à l'exception de deux lacunes entre le 27/02/01 et le 02/03/01 et entre le 12/11/01 et le 14/12/01 (panne de l'appareil). Mais les données journalières ont pu être déterminées sur ces intervalles par la prise en compte des données du pluviomètre installé à proximité (cf. § II.1).

II.1.2- Traitement des données

II.1.2.1- Données pluviométriques

Le traitement des données pluviométriques repose sur les données journalières de douze mois, de mars 2001 à février 2002 (pour être en concordance avec les données pluviographiques). La pluviométrie journalière est calculée sur 24 heures à partir de 06 h comme toute journée météorologique.

L'analyse est réalisée à trois échelles temporelles :

- sur l'ensemble du cycle annuel et au niveau mensuel (cumul de précipitations et nombre de jours de pluie), pour effectuer des bilans comparés ;
- par décade (cumuls) pour déterminer des limites entre les saisons sèche et humide ;
- par épisode, pour effectuer une analyse fine comparée à l'échelle des différentes périodes saisonnières en fonction de différents critères (effectif, hauteur moyenne, délai moyen entre 2 épisodes...).

II.1.2.2- Données pluviographiques

Le traitement des données pluviographiques repose sur l'analyse des intensités (intensités maximales, intensité-durée) de quelques épisodes majeurs enregistrés à Ankily. Du fait de la rotation hebdomadaire, la précision temporelle maximale sur le pluviogramme est de 30 minutes.

II.2- Bilans pluviométriques dans les deux villages

II.2.1- Bilans annuels

Les cumuls annuels pluviométriques, ainsi que le nombre de jours de pluie correspondants, ont été calculés pour nos deux villages d'étude à partir des données journalières :

- 971 mm à Ampandratokana (vallée d'Ihosy), tombés en 55 jours ;

- 1159 mm à Kelivondraka (plateau de l'Horombe), tombés en 67 jours.

Ce résultat met en évidence une supériorité du cumul et du nombre de jours de pluie à Kelivondraka par rapport à Ampandratokana. Cette tendance apparaît également au niveau des cumuls annuels moyens (année calendaire) pour la période 1961-1990 (cf. tableau 2.1 du chapitre 2) estimés par la Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar au niveau d'Ihoso (829 mm) et de Kelivondraka (868 mm) et suggère une pluviosité un peu plus importante sur le rebord du plateau de l'Horombe que dans la vallée d'Ihoso. Nous y reviendrons plus loin.

Les cumuls pluviométriques de l'année 2001-2002 apparaissent quelque peu supérieurs aux cumuls annuels moyens (1961-1990) des stations d'Ihoso (829 mm) et de Kelivondraka (868 mm) : notre recherche se situe donc dans un contexte d'humidité légèrement supérieure à la moyenne (fig. 5.7), avec des écarts marqués certains mois, comme décembre 2001 à Kelivondraka (environ 410 mm contre 174 mm en moyenne).

II.2.2- Bilans mensuels

La répartition des pluies mensuelles durant notre étude montre une nette période humide de cinq mois (novembre à mars), marquée par des précipitations importantes en terme de cumul (figure 5.7) et de nombre de jours de pluie (figure 5.8), et une période sèche (avril à octobre).

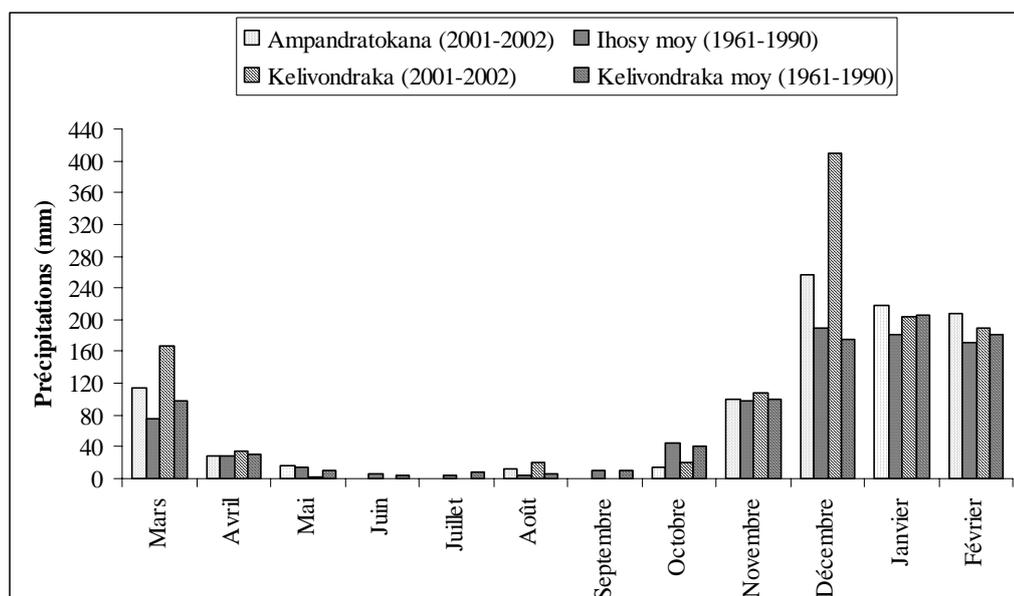


Figure 5.7 : Pluviométrie mensuelle à Ampandratokana et Kelivondraka comparée à la pluviométrie mensuelle moyenne (1961-1990) à Ihoso et Kelivondraka

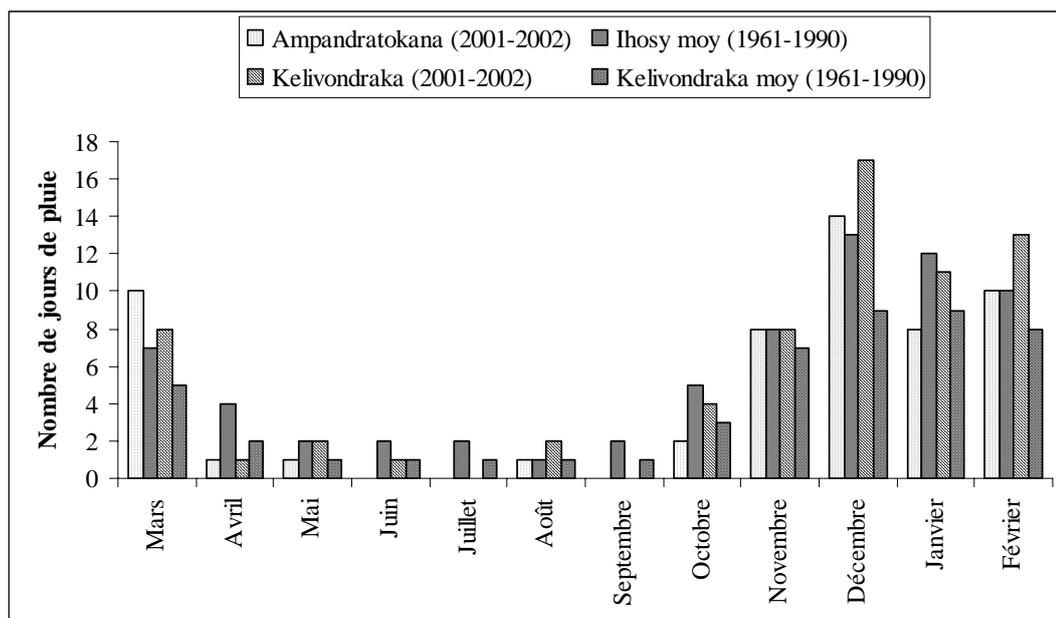


Figure 5.8 : Nombre de jours de pluie mensuels (mars 2001- février 2002) à Ampandratokana et à Kelivondraka comparé au nombre de jours de pluie mensuels moyens à Ihozy et Kelivondraka (1961-1990)

Durant la période humide le cumul pluviométrique à Ampandratokana atteint 899 mm (soit 92% du total annuel) pour 50 jours de pluie (91% du nombre total). Il atteint à Kelivondraka 1079 mm (soit 93% du total annuel) pour 57 jours de pluie (85% du nombre total). Les cumuls et les nombres de jours de pluie augmentent entre novembre et décembre (maximum pour ce mois ; 257 mm et 14 jours de pluie à Ampandratokana, 410 mm et 17 jours de pluie à Kelivondraka), puis diminuent au mois de janvier (également un peu moins humide que décembre sur la période moyenne 1961-1990 à Ihozy) pour relativement se stabiliser aux mois de février et mars.

L'interruption ou la diminution des pluies au cœur de la saison humide a déjà été relevée par Donque (1975), qui précise que « la saison des pluies n'est homogène dans aucune des stations des Hautes Terres ». Selon lui, des « breaks » de mousson peuvent survenir en plein été, diminuant fortement les pluies, les supprimant parfois totalement pendant quelques jours. L'analyse des cartes météorologiques du mois de janvier montre qu'en l'absence de cyclone, la Convergence Intertropicale est fréquemment située très au nord des Hautes Terres sans explication fondée ; mais le résultat est d'engendrer une rémission pluviométrique pendant ce mois.

La répartition des cumuls mensuels montre une période sèche de quatre mois (juin à septembre) où les précipitations sont faibles, en cumul (figure 5.7) et en nombre de

jours de pluies (figure 5.8). Le mois d'août est marqué par de faibles précipitations (entre 12 et 21 mm selon les stations), contrastant avec la sécheresse absolue des trois autres mois.

La survenue de ces épisodes pluvieux en saison sèche n'est pas un phénomène exceptionnel de cette année 2001, car Donque (1975) précise que de la même manière qu'en été certaines décades peuvent être très sèches, en hiver des périodes pluvieuses peuvent survenir dans le climat des Hautes Terres, liées aux alizés.

Les cumuls et les nombres de jours de pluie sont supérieurs à Kelivondraka par rapport à Ampandratokana pour tous les mois, exceptés janvier et février où les cumuls sont légèrement supérieurs à Ampandratokana. Des variations importantes de cumul sont constatées entre Ampandratokana et Kelivondraka pour les mois de mars 2001 (53 mm de plus à Kelivondraka) et de décembre 2001 (153 mm de plus à Kelivondraka).

Par rapport aux données moyennes (1961-1990), les cumuls et le nombre de jours de pluie mensuels de l'année d'étude sont excédentaires pour les 2 stations, excepté pour le nombre de jours de pluie au mois de janvier à Ampandratokana. Le mois de décembre 2001 se distingue particulièrement du fait des cumuls et des nombres de jours de pluie largement supérieurs aux données moyennes (1961-1990) surtout à Kelivondraka, où le cumul de 2001 (410 mm) est le double de celui de la période moyenne (174 mm).

L'observation des cumuls et des nombres de jour de pluie mensuels met en fait en évidence 4 périodes :

- une période sèche de juin à septembre ;
- une période charnière entre la saison sèche et la saison des pluies en octobre ;
- une période humide de novembre à mars ;
- une période charnière entre la saison des pluies et la saison sèche en avril-mai.

A ce propos Donque (1975) indique dans sa caractérisation du climat des Hautes Terres malgaches que «octobre et avril, derniers mois des deux saisons sont à mettre à part ».

Il apparaît donc que les mois d'avril et d'octobre marquent une transition entre les deux saisons, mais il est assez difficile à ce niveau de borner précisément les saisons à l'échelle mensuelle.

II.2.3- Bilans saisonniers

« Les facteurs saisonniers et climatiques exercent un effet considérable sur le cycle biologique des mollusques hôtes intermédiaires. Il importe de souligner que tout habitat est soumis à des modifications saisonnières dont l'importance varie cependant selon le cas » (WHO, 1957).

Les variations pluviométriques en sont les principales et doivent être analysées dans le détail. La détermination des limites des différentes saisons permettra de se situer précisément par rapport aux dates des campagnes de prospections malacologiques.

II.2.3.1- Délimitation des saisons

Afin de déterminer avec plus d'exactitude les limites des saisons pluviométriques, nous avons réalisé une analyse des précipitations décadaires (tableau 5.1), comme celle développée par Ravet (in Donque, 1975). Dans son étude, il considère « comme critère de la fin de la saison pluvieuse, une pluie décadaire inférieure ou égale à 10 mm ; mais une décade égale ou supérieure à 10 mm précédée de plus d'une décade sèche (moins de 10 mm) et suivie d'une décade sèche ne sera pas considérée comme faisant partie de la saison des pluies ; en revanche si cette décade pluvieuse (plus de 10 mm) est précédée de deux décades sèches mais suivie par une autre décade pluvieuse, on l'intégrera dans la saison humide ». Il considère par ailleurs « une pluie décadaire égale ou supérieure à 10 mm comme ouvrant la saison humide sauf dans le cas où cette décade pluvieuse est suivie de plus d'une décade sèche ».

D'après ces critères, la saison sèche 2001 pour notre zone d'étude commence à la 3^{ème} décade d'avril (moins de 10 mm). La 2^{ème} décade d'avril est encore dans la saison des pluies 2000-2001 car elle est pluvieuse et suivie d'une décade sèche, mais pas précédée de plus d'une décade sèche. La fin de la saison sèche se situe à la 2^{ème} décade d'octobre (moins de 10 mm). Le début de la saison des pluies 2001 correspond à la 3^{ème} décade d'octobre qui est humide et suivie de moins d'une décade sèche.

	Décade	Pluies (mm) à Ampandratokana	Pluies (mm) à Kelivondraka
mars-01	1	36	110
	2	25	5
	3	54	54
avr-01	1	0	0
	2	29	34
	3	0	0
mai-01	1	0	0
	2	0	0
	3	17	3
juin-01	1	0	0
	2	0	1
	3	0	0
juil-01	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
août-01	1	0	3
	2	12	18
	3	0	0
sept-01	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
oct-01	1	0	0
	2	0	9
	3	15	12
nov-01	1	8	12
	2	39	39
	3	52	57
déc-01	1	95	125
	2	18	28
	3	145	257
janv-02	1	99	103
	2	26	15
	3	93	85
févr-02	1	89	78
	2	43	64
	3	76	49
Total		971	1159

Tableau 5.1 : Précipitations décadaires (en mm) de mars 2001 à février 2002 pour les 2 stations pluviométriques (en grisé : saison sèche)

II.2.3.2- Variabilités inter-saisonnière

Durant la saison sèche - délimitée comme on vient de le voir - les cumuls pour Ampandratokana et Kelivondraka sont respectivement de 28,9 mm et 33,5 mm. La proportion de pluie tombée durant la saison sèche par rapport au cumul annuel est minime et comparable pour les 2 stations pluviométriques (3%). Le nombre de jours de pluie correspondant aux cumuls est de 2 (4%) pour Ampandratokana et 7 (9%) pour Kelivondraka.

Les cumuls et les nombres de jours de pluie sont donc essentiellement concentrés sur la saison humide – délimitée comme on vient de le voir – avec respectivement 943 mm à Ampandratokana et 1125 mm à Kelivondraka (soit 97% des cumuls annuels) et 48 jours de pluie à Ampandratokana et 50 jours de pluie à Kelivondraka.

II.2.3.3- Variabilités intra-saisonnière

L'observation des cumuls par décade suggère également une variation intra-saisonnière de la saison humide, avec notamment un changement entre les mois d'octobre et novembre et ceux de décembre, janvier et février. Nous avons alors distingué arbitrairement 3 périodes au sein de la saison des pluies (figure 5.9) :

- fin de saison 2000-2001 ("SPf"), du 01/03/01 au 20/04/01 ; soit 144 mm à Ampandratokana et 203 mm à Kelivondraka, correspondant respectivement à 11 jours de pluie et 9 jours de pluies ;
- début de saison 2001-2002 ("SPd"), du 21/10/01 au 30/11/01 ; soit 114 mm à Ampandratokana et 119 mm à Kelivondraka, correspondant à 10 jours de pluie ;
- cœur de saison 2001-2002 ("SPc") du 01/12/01 au 28/02/02 ; soit 683 mm à Ampandratokana et 804 mm à Kelivondraka, correspondant respectivement à 32 et 41 jours de pluie.

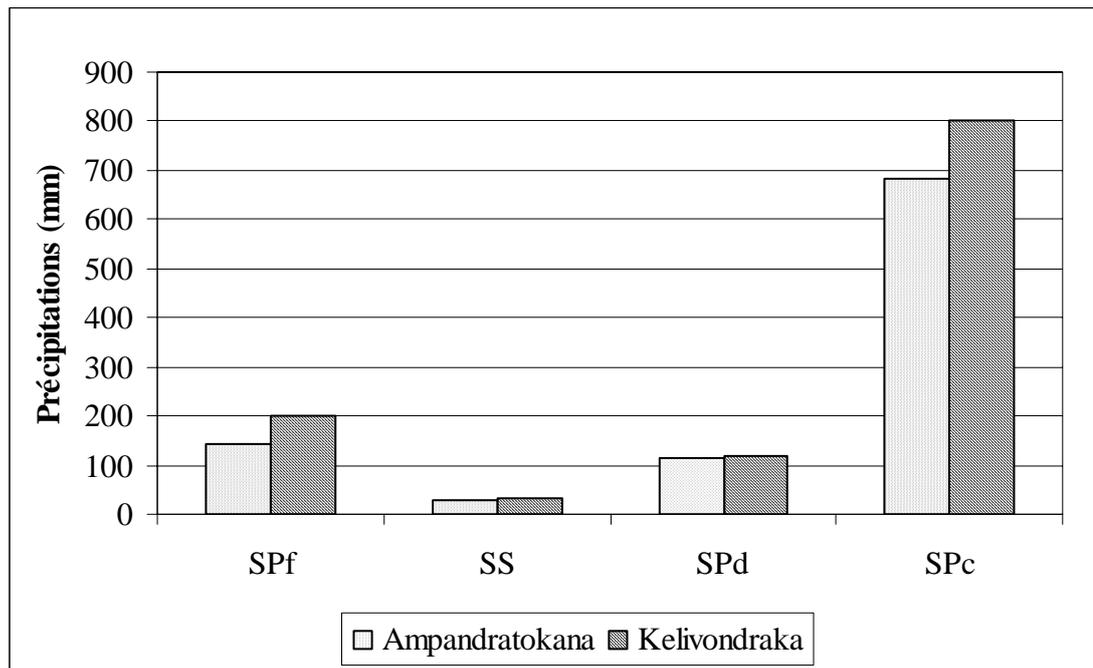


Figure 5.9 : Cumuls pluviométriques par « période saisonnière » à Ampandratokana et Kelivondraka (SPf : fin de saison des pluies ; SS : saison sèche ; SPd : début de saison des pluies ; SPc : cœur de saison des pluies)

Cependant, nous soulignons que cette variabilité n'a de valeur que pour l'année d'étude et que ce découpage en périodes est réalisé pour faciliter l'étude de la relation entre les variations des facteurs climatiques et les variations des effectifs des mollusques hôtes intermédiaires (chapitre 7).

Durant la saison sèche (SS) et la période SPd les cumuls pluviométriques sont équivalents dans les deux villages, en revanche les cumuls sont supérieurs à Kelivondraka pour les périodes SPf et SPc.

II.3- Caractéristiques des épisodes pluvieux

L'analyse développée ci-après est faite parce qu'il s'agit de facteurs conditionnels directs, particulièrement importants, des écoulements. Ces données seront reprises dans la relation pluie-débit et dans l'étude de l'influence des facteurs hydro-climatiques sur la dynamique des populations des mollusques hôtes intermédiaires. Elle vise à apprécier les précipitations dans les deux villages à l'échelle des épisodes pluvieux durant les quatre périodes pluviométriques définies précédemment, en analysant leurs principales

caractéristiques, jugées pertinentes par rapport à notre problématique : effectif des épisodes par période, cumul des hauteurs de pluie par période (cf. aussi § II.2.3.2), hauteur maximale atteinte pour un épisode, hauteur moyenne par épisode, délai en jours par rapport à l'épisode précédent qui peut être un facteur explicatif du degré de saturation des sols pris en compte dans l'étude hydrologique à venir. Elle a également pour objectif d'analyser l'hétérogénéité spatiale des épisodes pluvieux. Elle est axée sur la comparaison des données des pluviomètres qui sont traitées à l'échelle temporelle la plus précise possible (pas de temps de 6 heures diurnes et 12 heures nocturnes).

II.3.1- Présentation des données

On entend par le terme d'épisode l'intervalle de temps continu durant lequel des précipitations se sont produites. Si des précipitations ont été relevées le jour J à 18 h et le lendemain à 6 h l'épisode pluvieux est considéré comme s'étalant du début d'après-midi du jour J (après le relevé de 12 h) jusqu'au lendemain matin 6 h, soit sur 18 heures.

Les caractéristiques de tous les épisodes pluvieux relevés au niveau des deux pluviomètres entre mars 2001 et février 2002 sont présentées dans le tableau 5.2. Sur la période annuelle de mesures, le nombre d'épisodes pluvieux est supérieur à Kelivondraka (67, contre 55 à Ampandratokana). La hauteur moyenne d'un épisode atteint 17,7 mm à Ampandratokana et 17,3 mm à Kelivondraka et les valeurs extrêmes vont de 1,1 à 64,5 mm à Ampandratokana et de 0,5 à 76,8 mm à Kelivondraka. Le délai moyen entre deux épisodes est de 7 jours pour Ampandratokana et de 5 jours pour Kelivondraka. La durée moyenne et l'intensité (variable déduite à partir de la durée) des épisodes sont des variables peu pertinentes étant donné la marge d'imprécision liée à la méthode de relevé des données pluviométriques. L'intensité sera étudiée ultérieurement à partir des données pluviographiques d'Ankily.

Date		Ampandratokana				Kelivondraka				
Saison	Début pluie	Délai (j)	Période	Durée	He (mm)	Délai (j)	Période	Durée	He (mm)	
SPf 00/01	01/03/01					1	P	6	2,7	
	02/03/01	2	N	12	9,3					
	05/03/01	3	N	12	8,5	3	N	12	63,6	
	08/03/01	3	N	12	18,3	3	N	12	43,2	
	11/03/01	3	N	12	4,7	3	P	6	0,5	
	12/03/01	1	N	12	20,1	1	N	12	4,1	
	21/03/01	9	P	6	6,6					
	26/03/01	5	N	12	9,1					
	27/03/01	1	P.N	18	28,8	15	P.N	18	34,6	
	28/03/01	1	N	12	2,8	1	N	12	8,2	
	29/03/01	1	N	12	6,7	1	P.N	18	11	
	14/04/01	16	N	12	29	16	N	12	34,3	
	SS 2001	22/05/01	37	N	12	16,7	37	P.N	18	2,4
		28/05/01					6	N	12	0,3
07/06/01						9	A.N	18	0,6	
06/08/01						69	P.N	18	3,1	
11/08/01		80	N	12	12,2	5	A.P.N	24	18	
11/10/01						60	A	6	6,3	
SPd 01/02	12/10/01					1	N	12	2,8	
	23/10/01	73	N	12	3,2	11	N	12	3	
	25/10/01	2	P	6	11,5	2	P	6	8,5	
	01/11/01	5	N	12	8,4	5	P.N	18	11,6	
	13/11/01	12	N	12	6,2	12	N	12	8,3	
	14/11/01	1	N	12	1,1	1	N	12	1	
	15/11/01	1	P	6	5,9					
	16/11/01	1	P.N	18	11,3	2	P.N	18	8,6	
	17/11/01	1	P.N	18	14,8	1	N	12	21,4	
	27/11/01					10	P.N	18	19,5	
	29/11/01	12	N	12	16,7	2	N	12	3,5	
	30/11/01	1	P.N	18	35,3	1	P.N	18	33,9	
	SPc 01/02	01/12/01	1	P.N	18	64,5				
03/12/01		2	N	12	12,6	4	N	12	58	
04/12/01		1	P	6	1,8					
05/12/01		1	N	12	2,6	2	P	6	31,2	
06/12/01		1	N	12	13,3	1	P.N	18	22,4	
07/12/01						1	P	6	2,4	
08/12/01						1	P	6	11,3	
14/12/01						6	P	6	12,4	
16/12/01		10	N	12	17,6	2	N	12	15,4	
17/12/01						1	N	12	0,6	
23/12/01		7	N	12	12,7	6	N	12	23,8	
24/12/01		1	N	12	10,5	1	N	12	4,8	
25/12/01		1	N	12	28,6	1	N	12	76,8	
26/12/01		1	N	12	36,2	1	P.N	18	46,3	
27/12/01		1	N	12	16,7	1	P.N	18	25,1	
28/12/01		1	N	12	13,3	1	N	12	44,4	
29/12/01		1	N	12	6,7	1	N	12	2,6	
30/12/01		1	P.N	18	20,3	1	P.N	18	21,6	
31/12/01						1	P.N	18	11,3	
01/01/02		2	N	12	23,2	1	P.N	18	23,1	
02/01/02		1	A.P.N	24	53,7	1	A.P.N	24	62,8	
03/01/02		1	N	12	22,5	1	A.P.N	24	17	
14/01/02		11	N	12	19	11	N	12	2,4	
15/01/02		1	N	12	7	1	P.N	18	9,3	
16/01/02						1	P	6	3,5	
24/01/02						8	P	6	8	
25/01/02		10	A.N	18	22,8					
28/01/02		3	P	6	11	4	P.N	18	58,4	
29/01/02						1	N	12	1,7	
30/01/02		2	N	12	58,9	2	N	12	15,3	
31/01/02						1	P	6	1,6	
04/02/02						4	N	12	0,5	
06/02/02		7	P	6	8,7	2	A.P	12	9,7	
07/02/02		1	P	6	2,2					
08/02/02		1	N	12	42,9	2	N	12	36	
09/02/02		1	N	12	17,8	1	N	12	20,4	
10/02/02		1	P.N	18	17,5	1	P.N	18	11	
11/02/02		1	N	12	37,7	1	N	12	44,7	
12/02/02						1	P	6	12	
18/02/02						1	P	6	1,5	
20/02/02	9	N	12	5,7	2	N	12	5,5		
22/02/02	2	N	12	27,8	2	N	12	8,7		
23/02/02	1	A	6	7,4	1	A	6	2,1		
24/02/02					1	A	6	0,8		
27/02/02	4	N	12	40,7	3	N	12	37,2		

Délai période séparant le début de la pluie de la précédente (en jours)

Période A : matin (6 à 12 h)

P : après-midi (12-18 h)

N : nuit (18h-6 h)

Durée : Par tranche de 6h ou 12h, cumul des tranches

He : Hauteur d'eau en mm

Tableau 5.2 : Caractéristiques des épisodes pluvieux aux stations pluviométriques de Kelivondraka et d'Ampandratokana (période mars 2001 à février 2002)

L'épisode pluvieux le plus important s'est produit dans les deux villages durant la période SPc ; 64,5 mm le 1/12/01 en 18 heures à Ampandratokana et 76,8 mm le 25/12/01 en 12 heures à Kelivondraka (tableau 5.2).

II.3.2- Caractéristiques par période saisonnière

Les tableaux 5.3 et 5.4 présentent les caractéristiques des épisodes pluvieux selon les différentes périodes saisonnières à Ampandratokana et à Kelivondraka.

Période	AMPANDRATOKANA				
	Nbr épisodes	Cumul He (mm)	He maximum (mm)	He Moy (mm)	Délai Moy (jours) entre épisodes
SPf 2000-2001 (01/03 au 20/04)	11	143,9	29	13,1	4
SS 2001-2001 (21/04 au 20/10)	2	28,9	16,7	14,5	58
SPd 2001-2002 (21/10 au 30/11)	10	114,4	35,3	11,4	10,9
SPc 2001-2002 (01/12 au 28/02)	32	683,9	64,5	21,4	2,8
Cycle annuel	55	971,1			

Tableau 5.3 : Caractéristiques des épisodes pluvieux par période à Ampandratokana

Période	KELIVONDRAKA				
	Nbr épisodes	Cumul He (mm)	He maximum (mm)	He Moy (mm)	Délai Moy (jours) entre épisodes
SPf 2000-2001 (01/03 au 20/04)	9	202,2	63,6	22,5	5
SS 2001-2001 (21/04 au 20/10)	7	33,5	18	4,8	15
SPd 2001-2002 (21/10 au 30/11)	10	119,3	33,9	11,9	4,7
SPc 2001-2002 (01/12 au 28/02)	41	803,6	76,8	19,6	2,1
Cycle annuel	67	1158,6			

Tableau 5.4 : Caractéristiques des épisodes pluvieux par période à Kelivondraka

L'analyse des tableaux 5.3 et 5.4 met en évidence pour les 2 stations une augmentation du nombre d'épisodes pluvieux et des cumuls entre la période SPd et la période SPc, tandis que les délais moyens entre épisodes diminuent.

Les délais moyens entre deux épisodes montrent une grande hétérogénéité suivant les périodes de la saison des pluies au niveau des deux stations. Pour la période SPc et

la période SPf, ils sont comparables, mais pour la période SPd le délai est 2 fois plus important à Ampandratokana qu'à Kelivondraka (10 et 5 jours respectivement). C'est au cœur de la saison humide que les épisodes sont les plus rapprochés (délai le plus court), en liaison directe avec leur nombre élevé. Les hauteurs d'eau moyennes par période sont assez homogènes à Ampandratokana (11,4 à 21,4 mm) mais plus variables à Kelivondraka (4,8 à 22,5 mm).

La distribution du nombre d'épisodes pluvieux par période saisonnière à Ampandratokana et à Kelivondraka est présentée à la figure 5.10.

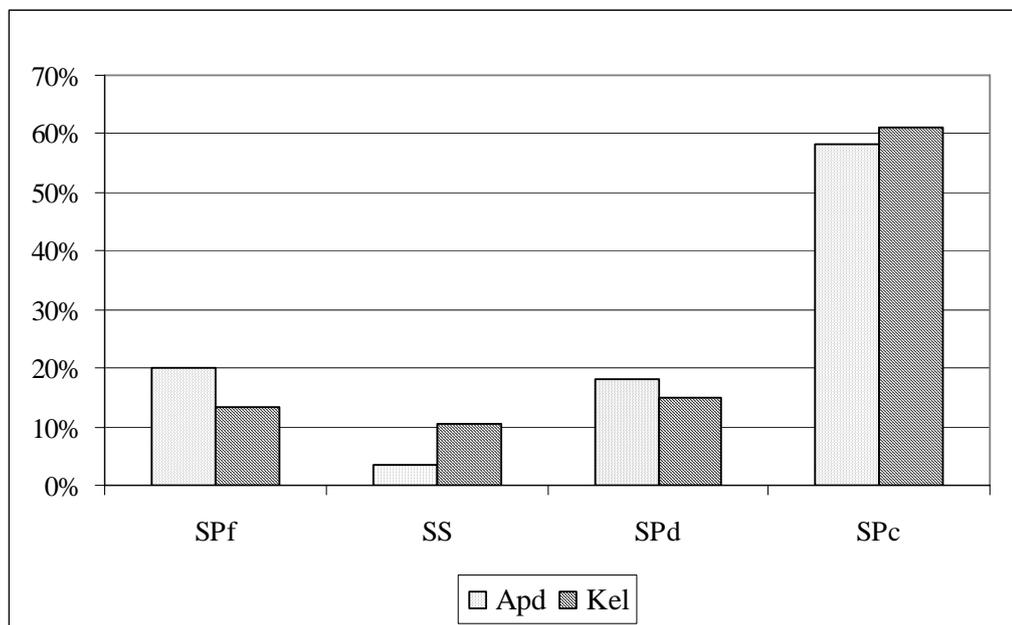


Figure 5.10 : Distribution des épisodes pluvieux par « période saisonnière » à Ampandratokana (Apd) et à Kelivondraka (Kel)

La distribution du nombre d'épisodes pluvieux montre que la majorité d'entre eux est observée pendant la période de cœur de saison des pluies (SPc) à Ampandratokana (58%) comme à Kelivondraka (61%). La distribution des effectifs des épisodes sur les autres périodes est variable pour les deux stations, avec une répartition moins homogène entre SPf / SS / SPd à Ampandratokana qu'à Kelivondraka.

L'étude des classes de hauteurs de pluie en fonction du nombre d'épisodes pluvieux permet d'apporter des informations supplémentaires sur la distribution des averses à Ampandratokana (tableau 4.6) et à Kelivondraka (tableau 5.5).

Période	Classes des pluies					
	0-20 mm		20-40 mm		> 40 mm	
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
SPf 2000-2001 (01/03 au 20/04)	8	72,7%	3	27,3%	0	0,0%
SS 2001-2001 (21/04 au 20/10)	2	100,0%	0	0,0%	0	0,0%
SPd 2001-2002 (21/10 au 30/11)	9	90,0%	1	10,0%	0	0,0%
SPc 2001-2002 (01/12 au 28/02)	19	59,4%	8	25,0%	5	15,6%
Cycle annuel	38	69,1%	12	21,8%	5	9,1%

Tableau 5.5 : Nombre et distributions des averses selon les hauteurs de pluies à Ampandratokana

Période	Classes des pluies					
	0-20 mm		20-40 mm		> 40 mm	
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
SPf 2000-2001 (01/03 au 20/04)	5	55,6%	2	22,2%	2	22,2%
SS 2001-2001 (21/04 au 20/10)	7	100,0%	0	0,0%	0	0,0%
SPd 2001-2002 (21/10 au 30/11)	8	80,0%	2	20,0%	0	0,0%
SPc 2001-2002 (01/12 au 28/02)	25	61,0%	9	22,0%	7	17,1%
Cycle annuel	45	67,2%	13	19,4%	9	13,4%

Tableau 5.6 : Nombre et distributions des averses selon les hauteurs de pluies à Kelivondraka

A l'échelle annuelle, l'analyse montre que les petites pluies (0-20 mm) représentent près des deux tiers des averses dans les deux villages. La proportion des pluies moyennes (20-40 mm) est proche dans les deux villages.

A l'échelle de la période saisonnière les pluies fortes se produisent uniquement durant la période SPc à Ampandratokana (15,6%) et durant les périodes SPf (22,2%) et SPc (17,1%) à Kelivondraka.

De cette analyse des épisodes pluvieux par période saisonnière, il ressort pour les deux stations pluviométriques une grande variabilité pour la plupart des variables analysées. La période SPc est celle qui enregistre les valeurs maximales pour le nombre d'épisodes pluvieux, le cumul de pluie, la hauteur moyenne (excepté à Kelivondraka où le maximum est atteint en période SPf). Les averses fortes sont principalement représentées durant cette période, pendant laquelle le délai moyen entre 2 épisodes est au plus bas.

II.3.3- Une distribution spatiale des pluies hétérogène

Dans la région d'Ihoso, aucune étude précise n'a été menée jusqu'à ce jour sur la variabilité spatiale des épisodes pluvieux. Le tableau 5.2 indique que de nombreux épisodes pluvieux sont relevés dans une station pluviométrique et pas dans l'autre, traduisant une distribution spatiale ponctuelle des pluies, relevée déjà dans bien d'autres régions tropicales, comme au Burkina-Faso (Mietton, 1988). Or cette variation spatiale des pluies est importante à appréhender pour bien comprendre les caractéristiques des réponses hydrologiques (chapitre 6).

Afin d'apprécier la disparité spatiale des pluies entre Ampandratokana et Kelivondraka, nous avons étudié la corrélation entre les cumuls des épisodes pluvieux d'Ampandratokana et ceux de Kelivondraka, en prenant en compte les pluies supérieures à 20 mm sur une station au moins.

Comme on pouvait s'y attendre au vu des résultats obtenus dans d'autres pays de la ceinture tropicale, il n'y a pas de corrélation entre les précipitations journalières des deux stations pluviométriques ($R^2=0,0059$), distantes de 7,5 km (figure 5.11).

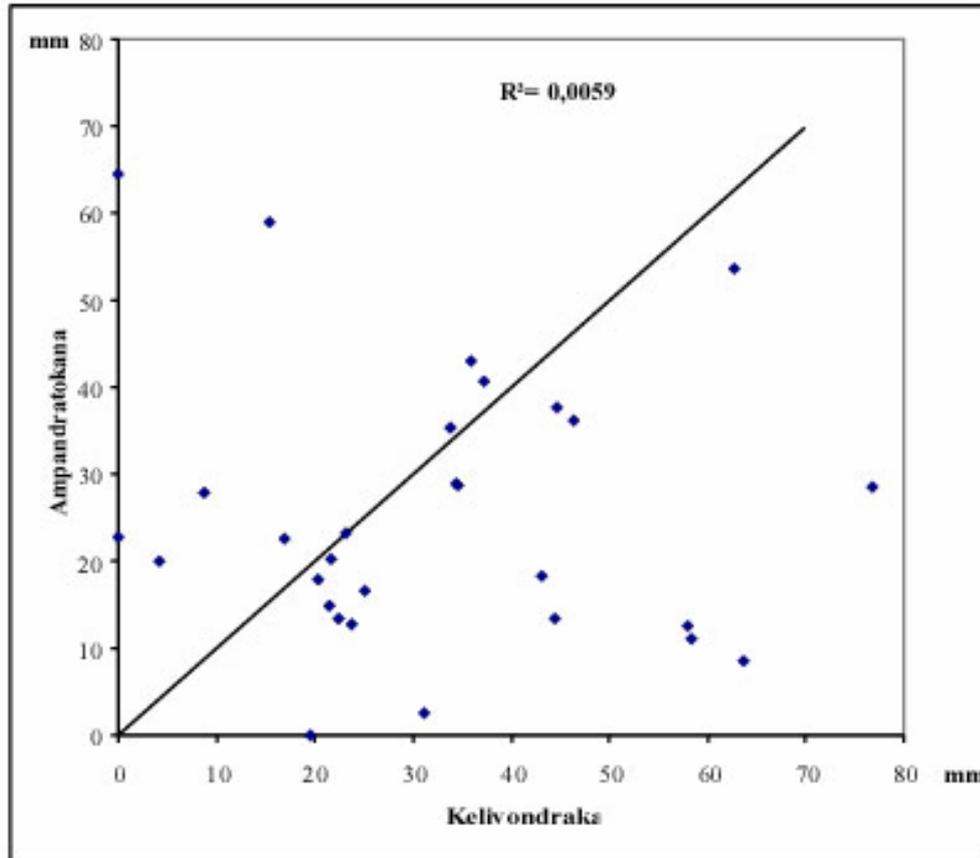


Figure 5.11 : Variabilité des pluies dans l'espace (Distance 7,5 km) sur la période mars 2001-février 2002 (précipitations supérieures à 20 mm pour une station au moins)

II.4- Intensités instantanées maximales, intensités-durées

La connaissance des pluies de courte durée à forte intensité est indispensable lorsqu'on s'intéresse aux écoulements sur les petits bassins-versants (chapitre 6).

Un examen des pluviogrammes (hebdomadaires avec une précision maximale de 30 minutes) enregistrés à Ankily, dans la vallée d'Ihosal, permet de distinguer des intensités plus ou moins marquées (tableau 5.7). Afin de situer la place de telle ou telle averse dans un classement des 5 averses les plus intenses (Najib, 2000) nous avons pris en compte l'intensité instantanée et l'intensité-durée.

Intervalle de temps	30min	60min	90min	2h	3h	4h	6h	12h
Cumul (mm)	27	45	52	54	58,5	59	59	59
Intensité (mm/h)	54	45	34,7	27,0	19,5	14,8	9,8	4,9
Date et heure début	08/02/02; 17:30	08/02/02; 17:30	30/01/01; 23:30	30/01/01; 23:30	30/01/01; 23:30	30/01/01; 23:30	30/01/01; 23:30	30/01/01; 23:30
Cumul (mm)	27	43	47	49	50	53	56	58
Intensité (mm/h)	54,0	43,0	31,3	24,5	16,7	13,3	9,3	4,8
Date et heure début	30/01/01; 23:30	30/01/01; 23:30	08/02/02; 17:30	08/02/02; 17:30	08/02/02; 17:30	08/02/02; 17:30	08/02/02; 17:30	08/02/02; 17:30
Cumul (mm)	17	28	34	40	43	44,5	45	45,5
Intensité (mm/h)	34,0	28,0	22,7	20,0	14,3	11,1	7,5	3,8
Date et heure début	02/01/02; 10:00	26/12/01; 19:00	26/12/01; 19:00	26/12/01; 19:00	26/12/01; 19:00	26/12/01; 19:00	26/12/01; 19:00	26/12/01; 19:00
Cumul (mm)	16	24	24	24	24	24	28	44
Intensité (mm/h)	32	24,0	16,0	12,0	8,0	6,0	4,7	3,7
Date et heure début	26/12/01; 19:00	25/12/01; 01:30	25/12/01; 01:30	25/12/01; 01:30	25/12/01; 01:30	25/12/01; 01:30	02/01/02; 10:00	02/01/02; 10:00

Pluie du	Pluie du	Pluie du	Pluie du	Pluie du
08/02/02	30/01/01; 23:30	25/12/01	02/01/02	26/12/01

Tableau 5.7 : Classement des cinq averses les plus agressives en fonction des intensité décroissantes pour chaque intervalle de temps compris entre 30 min et 12 h à Ankily

Les pluies du 08/02/02 et du 30/01/02 arrivent en tête pour les tranche de durée de 30 minutes (54 mm/h) et d'une heure (45 mm/h pour la pluie du 08/02/02). La pluie du 30/01/02 arrive en tête pour les durées supérieures à l'heure avec une intensité proche de 10 mm/h pendant 6 heures. La pluie du 25/12/01 présente les mêmes caractéristiques que l'épisode du 26/12/01 mais avec des intensités instantanées moindres. Ces pluies correspondent à des orages importants avec une précipitation brutale de 10 à 30 mm en 30 minutes, suivie d'une traîne variable en intensité comme en témoignent les différences entre les épisodes du 30/01/02, du 26/12/01 et du 25/12/01, mais d'une durée de plusieurs heures.

La tempête tropicale du 02/01/02 fait partie des cinq épisodes les plus intenses avec une intensité de début de pluie importante (34 mm/h pendant 30 minutes) et un cumul pluviométrique important sur une longue période (44 mm en 12 heures).

Toutes ces averses intenses sont dans la période SPc.

Au terme de ce chapitre concernant les facteurs climatiques, plusieurs résultats apparaissent et orientent notre réflexion.

La comparaison des profils thermiques et des précipitations met en évidence des variations importantes entre les deux villages d'étude. Les températures de l'air et de l'eau sont plus élevées à Ampandratokana, situé dans la vallée d'Ihosy et bénéficiant d'une position d'abri, qu'à Kelivondraka, situé sur le plateau plus élevé et davantage exposé aux alizés. Les précipitations annuelles sont plus importantes à Kelivondraka qu'à Ampandratokana, probablement en liaison également avec cette même différence de positionnement topographique. La variabilité spatiale est forte à l'échelle des épisodes pluvieux au regard du faible coefficient de corrélation. Les cumuls annuels de l'année 2001-2002 des stations d'Ihosy (971 mm) et de Kelivondraka (1159 mm) sont supérieurs aux cumuls annuels moyens (1961-1990) aux stations d'Ihosy (829 mm) et de Kelivondraka (868 mm) : notre recherche se situe donc dans un contexte de pluviosité excédentaire.

En prenant en compte les températures et les précipitations, notre analyse fait ressortir différentes périodes caractérisant le climat à l'échelle du rebord oriental du plateau de l'Horombe. La saison sèche (de fin avril à fin octobre) est marquée par un faible cumul des pluies et des températures fraîches. Le début de la saison des pluies (fin octobre à début décembre) se caractérise par un accroissement net des températures qui atteignent leur maximum à la fin du mois de novembre ainsi que l'apparition des premières pluies, peu importantes et peu fréquentes. Le cœur de la saison des pluies (décembre à fin février) se distingue par des orages très fréquents, conséquents et marqués par une intensité élevée, et des pluies pouvant être liées à des cyclones ou des tempêtes tropicales comme celle relevée le 2 janvier 2002, qui a également entraîné une chute momentanée des températures.

Après avoir étudié la variabilité spatio-temporelle des facteurs climatiques de la zone d'étude et de manière précise sur chaque site, nous verrons dans le prochain chapitre les caractéristiques des réponses hydrologiques (crues et étiages).

-CHAPITRE 6-

BASSINS-VERSANTS

ET FACTEURS HYDROLOGIQUES

Le chapitre précédent nous a donné l'occasion de décrire non seulement les températures, mais aussi les précipitations, principal facteur climatique intervenant dans la genèse des écoulements sur un bassin-versant. Il convient désormais de caractériser ces écoulements par les estimations de débits à l'exutoire des bassins-versants étudiés (Ivatriana et Ampasimaiky à Ampandratokana, Bekinana à Kelivondraka).

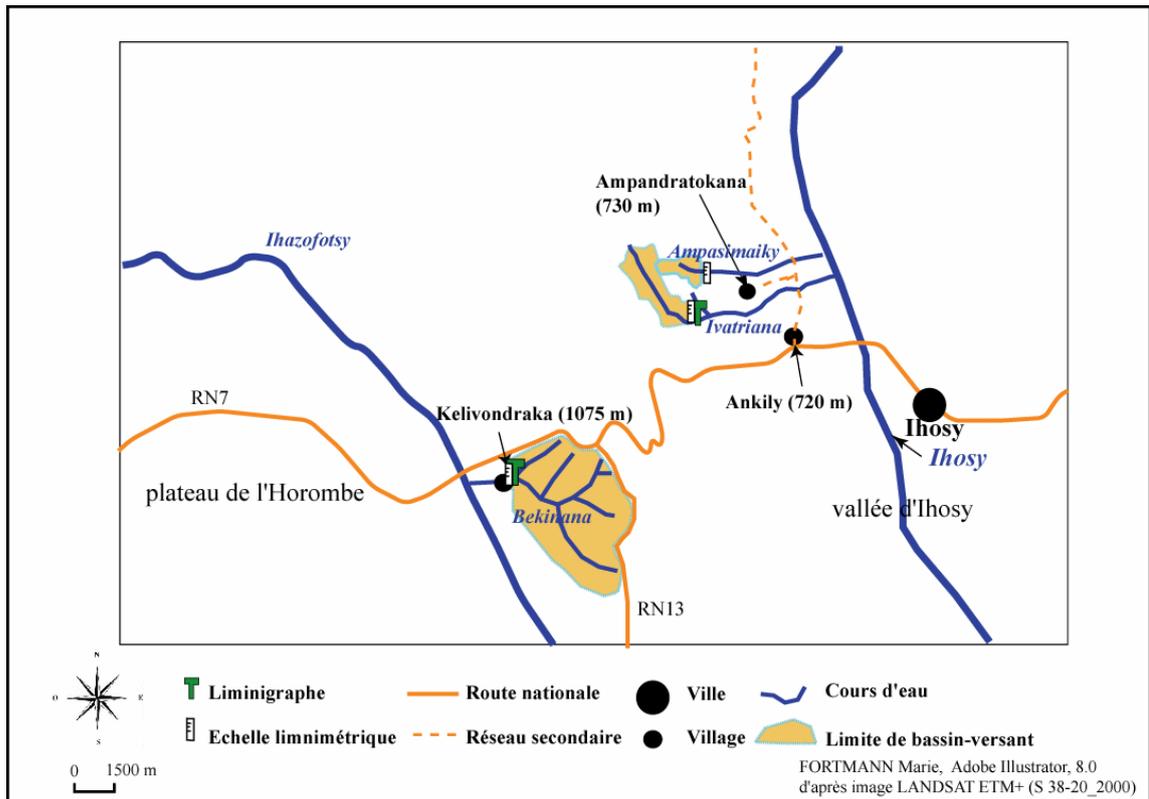
La compréhension du fonctionnement hydrologique nécessite auparavant une présentation de la structure (*lato sensu*) des bassins. Il convient donc dans un premier temps de les caractériser du point de vue morphométrique et physiographique dans une optique comparative.

Les mesures de terrain (hauteurs d'eau, vitesses) et les données induites (temps de réponse¹) permettront ensuite une caractérisation du fonctionnement hydrologique de ces unités, notamment dans les conditions hydrologiques extrêmes (étiages et crues maximales), les plus utiles à une compréhension de l'écologie des populations de l'hôte intermédiaire impliqué dans la schistosomose intestinale.

I- Caractéristiques morphométriques et physiographiques des bassins-versants

La localisation des trois bassins-versants a été établie à partir des feuilles topographiques et des photos aériennes déjà utilisées pour la description des terroirs d'Ampandratokana et Kelivondraka (cf. chapitre 4). Elle est représentée à la carte 6.1.

¹ Temps de réponse : temps qui sépare le début d'une pluie du début de la crue correspondante.

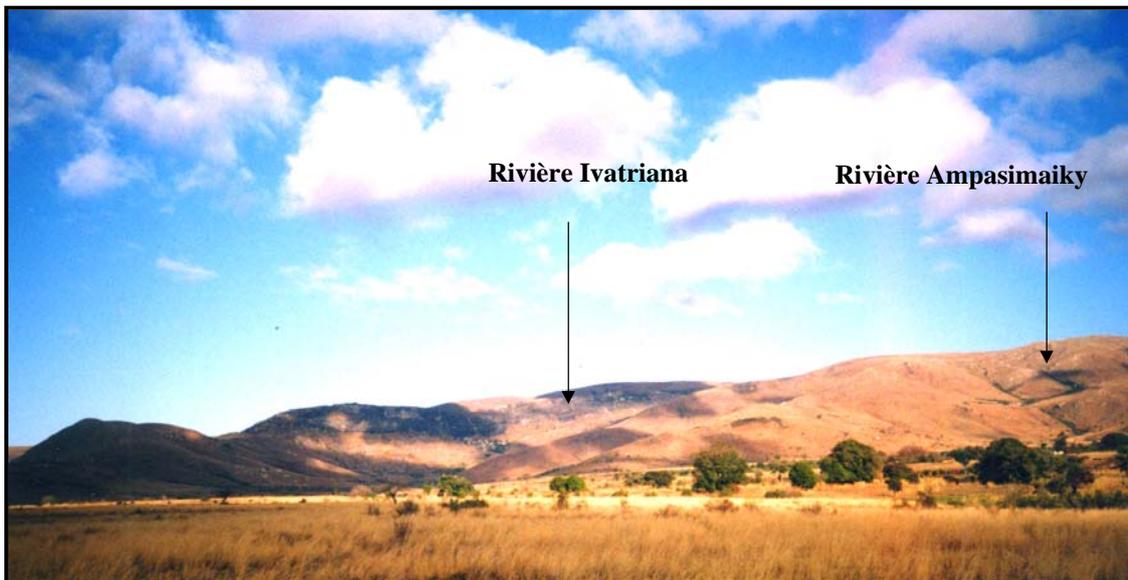


Carte 6.1 : Localisation des trois bassins-versants étudiés

Il est intéressant de souligner que l'on se trouve ici sur des lignes de partage des eaux majeures (chapitre 2) : le bassin de Kelivondraka (photo 6.1) étant à l'extrême amont du bassin de l'Onilahy tandis que les bassins d'Ampandratokana (photo 6.2) s'inscrivent eux dans le haut bassin du Mangoky, la localité d'Ihozy étant à proximité immédiate de la ligne de partage des eaux avec le versant oriental (haut bassin de la Mananara du Sud).



**Photo 6.1 : Vue sur le bassin-versant de la rivière Bekinana à Kelivondraka
(orientation Est, cliché M. Fortmann, 2001)**



**Photo 6.2 : Vue sur les bassins Ivatriana et Ampasimaiky à Ampandratokana
(escarpement bordier du fossé d'Ihoso, orientation Ouest, cliché M. Fortmann, 2001)**

I.1- Caractéristiques morphométriques

Les caractéristiques morphométriques d'un bassin-versant influencent fortement les réponses hydrologiques, le régime des écoulements. Sans aborder ici tous ces paramètres comme il convient de le faire dans une étude strictement hydrologique, nous présenterons la taille des bassins (surface (A) et périmètre (P)), leur forme (indice de compacité de Gravelius²), leurs altitudes (moyenne et médiane), leur pente et l'organisation générale du réseau hydrographique, traduite à travers la classification de Schumm-Strahler³ (tableau 6.1).

La délimitation des bassins (cartes 6.2 et 6.3) est réalisée en s'appuyant non pas tant sur les cartes topographiques, ici à trop petite échelle (1/100 000), mais sur les prises de vues aériennes (du 1/50 000 au 1/12 500) et les reconnaissances de terrain.

Bassin-versant	Ampandratokana		Kelivondraka
	Ivatriana	Ampasimaiky	Bekinana
Surface A (km ²)	2,83	0,94	8,24
Périmètre P (km)	8,7	4,77	13,45
Indice de compacité Kc	1,45	1,38	1,31
Ordre maximal des drains (classification de Schumm Strahler)	4	3	3
altitude moyenne (m)	987	860	1093
altitude médiane (m)	965	840	1094
Pente moyenne du cours d'eau (m/km)	106	258	12,8

Tableau 6.1 : Principales caractéristiques morphométriques des 3 bassins fermés aux appareils de mesures

Du point de vue de la superficie, les trois unités se rangent dans la catégorie des petits bassins-versants, compris entre 1 et 10 km², à réponse hydrologique rapide lors d'un événement pluvieux intense. Les rapports sont cependant de 1 à 3 entre le bassin

² Indice ($Kc=0,28 (P/\sqrt{A})$ avec P le périmètre et A la surface du bassin) qui traduit la compacité du bassin-versant. On comprend par la formule de calcul qu'un cercle a un indice de 1. Plus la forme du bassin est allongée, plus l'indice est élevé.

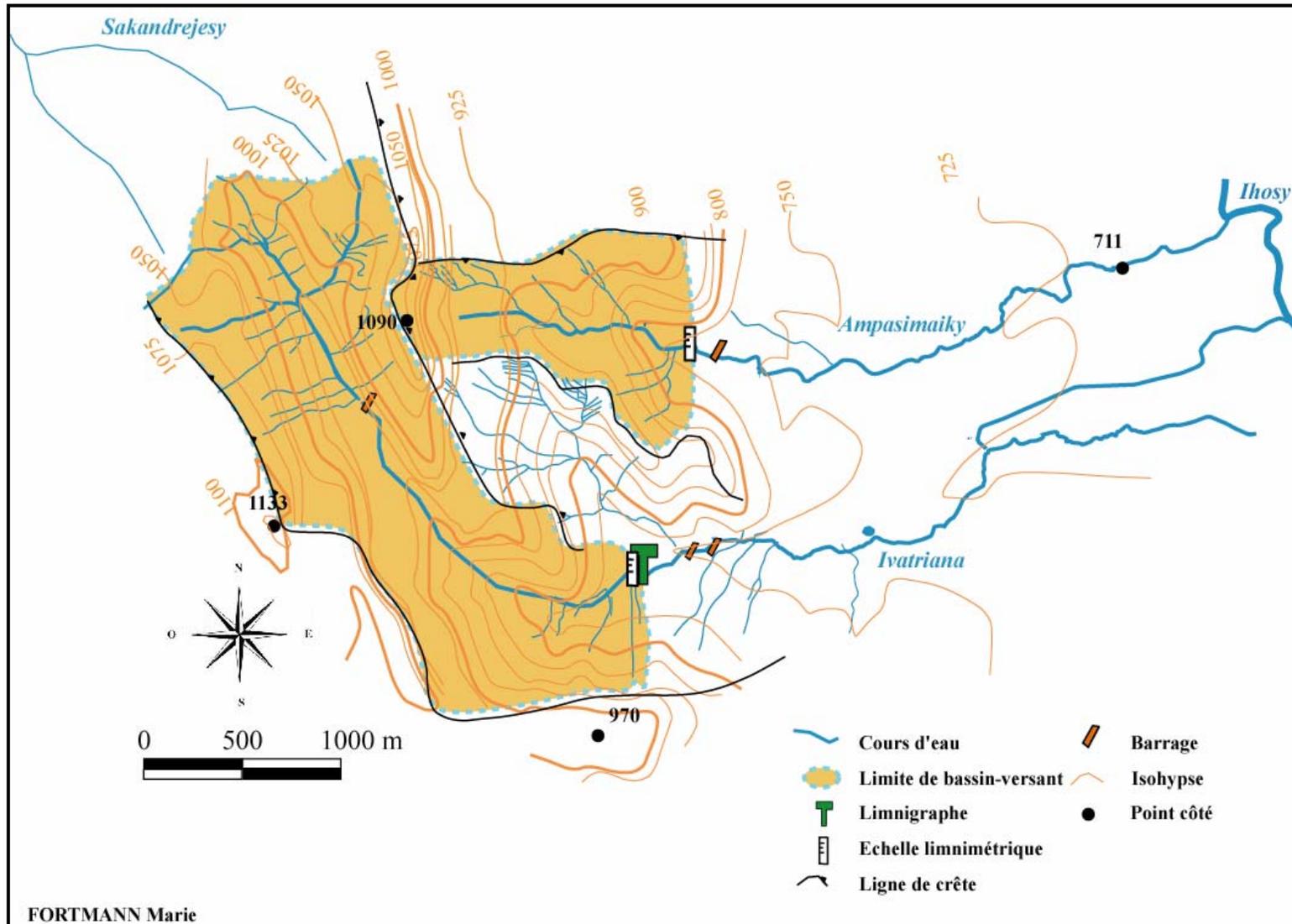
³ La classification se base sur les règles suivantes : tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre 1 ; le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux ; le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de 1

d'Ampasimaiky et celui d'Ivatriana, comme entre ce dernier et celui de la Bekinana (Kelivondraka).

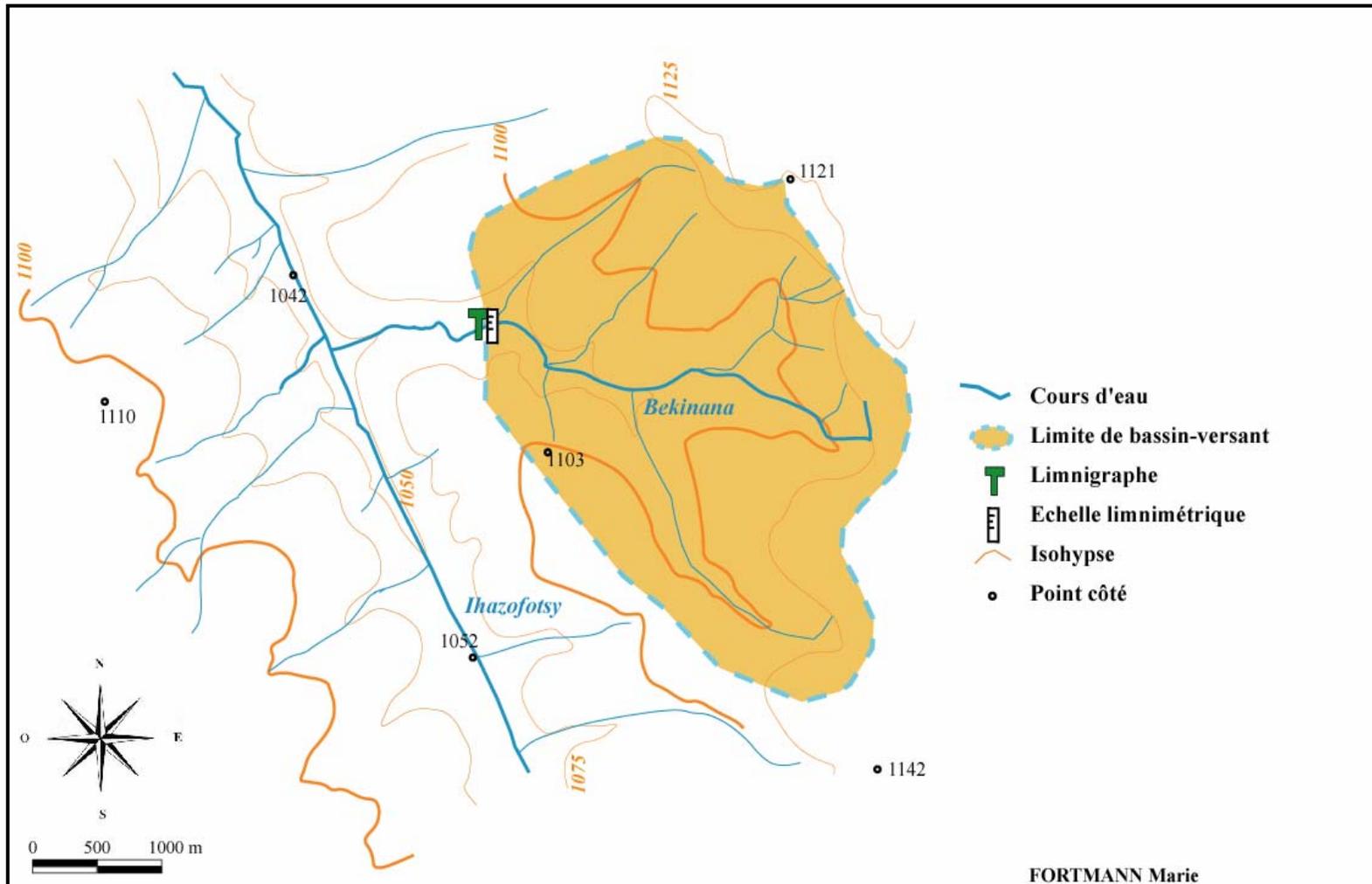
L'indice de Gravelius traduit la compacité d'un bassin. Plus cette compacité est effective, plus elle rendra compte - toutes conditions égales par ailleurs - d'une concentration des eaux à l'exutoire, d'une occurrence de pics de crue d'autant plus marqués. C'est peu le cas ici puisque les bassins sont de forme assez allongée, davantage cependant sur la rivière Ivatriana puis sur l'Ampasimaiky que sur la Bekinana.

Par leur situation sur l'escarpement bordier du fossé d'Ihosy, les deux bassins d'Ivatriana et d'Ampasimaiky ont des pentes moyennes 10 à 25 fois plus fortes que celui de la Bekinana. Le bassin d'Ivatriana possède du point de vue morphologique une partie amont strictement comparable au bassin d'Ampasimaiky. Les amplitudes altitudinales sont du même ordre, de 375 m pour le premier contre 340 m pour le second, de même que les altitudes maximales voisines de 1100 m (carte 6.2). Les courbes hypsométriques illustrent de façon classique la distribution des tranches altitudinales (figures 6.1 et 6.2) sur ces deux petits bassins montagneux (photo 6.2), où l'ordre de drainage dans la hiérarchie de Schumm Strahler n'excède pas 4.

Le bassin de la Bekinana présente une faible amplitude altitudinale de 100 m avec une altitude maximale de 1120 m. La courbe hypsométrique de ce bassin n'a pas été présentée étant donné la faible pente.



Carte 6.2 : Topographie et limite des bassins-versants des rivières Ivatriana et Ampasimaiky à Ampandratokana



Carte 6.3 : Topographie et limite du bassin-versant de la rivière Bekinana à Kelivondraka

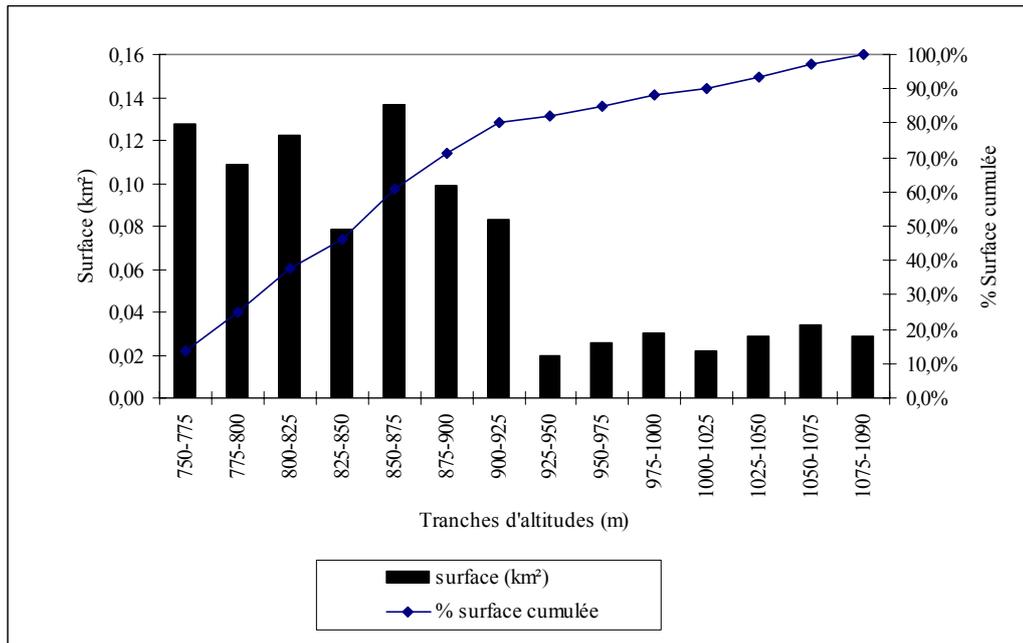


Figure 6.1 : Courbe hypsométrique du bassin de la rivière Ampasimaiky

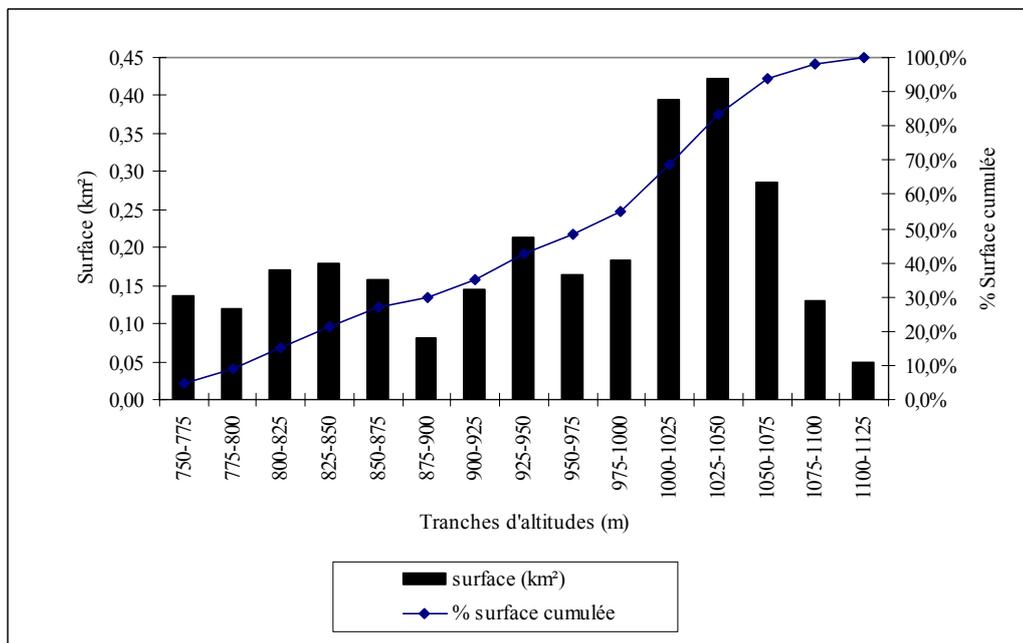


Figure 6.2 : Courbe hypsométrique du bassin de la rivière Ivatriana

I.2- Caractéristiques physiographiques

Les paramètres morphométriques ne rendent pas compte seuls du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant. Ce dernier est fonction aussi de ses états des surface - couvertures pédologique et végétale, eux-mêmes en relation respectivement avec la nature du substratum et les pratiques anthropiques (mise en culture, feux, reboisement, ...).

- Du point de vue pédologique, si les trois bassins sont ancrés dans le socle cristallin (schistes cristallins⁴), une grande différence apparaît avec la présence exclusive d'altérites épaisses, non ferrugineuses, sur le bassin de la Bekinana. En revanche, les deux bassins d'Ampandratokana sont marqués par l'existence de surfaces rocheuses affleurantes ou subaffleurantes en proportion importante ou de sols rouges très durcis avec des épandages caillouteux provenant du plateau de l'Horombe (Hervieu, 1960). Ces dalles rocheuses, affectées de fortes pentes rappelons-le, peuvent être considérées comme très ruisselantes. Les altérites de l'Horombe, compactes, semblent jouer un rôle imperméabilisant en grand vis-à-vis des pluies sur ce bassin⁵. Ce sont des sols ferrallitiques typiques décrits par Morat (1969), à structure polyédrique à faible profondeur, avec une stone-line de quartz fréquente, ayant pour effet de réduire les échanges d'eau et d'empêcher la pénétration des racines, expliquant l'absence d'arbres.

- Du point de vue du couvert végétal, la même différence se retrouve. Le bassin de la rivière Bekinana se trouve sur le plateau de l'Horombe dont la végétation naturelle est constituée d'une savane remarquable, parce que strictement herbacée, à *Loudetia simplex* et *Heteropogon contortus* (cf. chapitre 2). A Kelivondraka, la végétation herbacée s'étend ainsi sur 98% de la surface du bassin. Le boisement d'eucalyptus qui entoure le hameau ne représente que 0,8% de la surface ; les haies d'eucalyptus présentes le long du réseau routier ne sont remarquées que parce qu'elles font un contraste saisissant dans ce monde de l'herbe (cf. chapitre 4). Les bassins versants d'Ivatriana et d'Ampasimaiky sont à plus de 95% soit en roche nue ou couverts de formation herbacée à faible ou très faible couverture (cf. chapitre 4). Une végétation

⁴ Sur les extraits des feuilles géologiques Ihosy-Nord et Ihosy-Sud au 1/100 000 (1972), les trois bassins apparaissent entièrement inscrits dans les formations schistes cristallins de Vohimana : série de Bekisopa à cipolins et quartzites dans le bassin de la Bekinana et la partie supérieure des bassins d'Ampasimaiky et Iriana ; série d'Ihosy à silimanite, grenats et cordiérite dans leur partie supérieure.

⁵ On est frappé lorsque l'on traverse l'Horombe en saison des pluies par la permanence de grandes flaques sur les larges interfluves.

plus dense composée d'herbacées hautes pousse dans les seuls talwegs des secteurs amont (cf. chapitre 2).

II- Le fonctionnement hydrologique des bassins-versants

II.1- Matériel : installation et méthodes

II.1.1- Les stations hydrométriques : lecture ou enregistrement des hauteurs d'eau

Avant notre recherche, aucun équipement hydrométrique n'avait été implanté dans les villages d'Ampandratokana et de Kelivondraka ou à proximité. Aucun site n'était donc équipé, ni même repéré. Le choix des trois sites d'installation d'appareils de mesures hydrologiques (exutoires des bassins) a été fait en prenant en compte des critères logistiques (section transversale du cours d'eau où l'installation était possible), d'accessibilité en toute saison (notamment pour les relevés limnimétriques effectués trois fois par jour) et de sécurité (surveillance des stations). Par manque de moyens matériels, deux sites seulement (Bekinana et Ivatriana) ont été installés en stations complètes (échelle et limnigraphe), dans chacun des deux contextes très différents vus précédemment (bassin de la Bekinana sur le plateau de l'Horombe et bassin de l'Ivatriana sur le rebord de la vallée d'Ihosy), le troisième (Ampasimaiky) étant équipé d'une seule échelle limnimétrique.

A Kelivondraka, la station hydrométrique (limnigraphe OTT X, à rotation hebdomadaire, et échelle limnimétrique de 3 m) a été installée le 22 janvier 2001 sur le fond fixe de l'ancien radier (22°25'43 S ; 46°01'09 E) de la rivière Bekinana, situé au sud du village (photo 6.3). Sur le plan hydrographique, cet emplacement se situe immédiatement en aval de la confluence (carte 6.3) entre les deux drains principaux du bassin-versant (le drain orienté NE-SO s'écoulant le long de la forêt prenant sa source près de la RN7 et le drain orienté SE-NO prenant sa source à proximité de la RN 13).



Photo 6.3 : Emplacement de la station hydrométrique sur la rivière Bekinana à Kelivondraka ($22^{\circ}25'43$ S ; $46^{\circ}01'09$ E) (cliché M.Fortmann, 2001)

A Ampandratokana, la station hydrométrique, équipée de façon identique a été installée le 14 février 2001 sur la rive gauche de la rivière Ivatriana ($22^{\circ}22'93$ S ; $46^{\circ}04'11$ E), à environ 400 m en amont d'un petit barrage, sur une section à fond rocheux.

L'échelle limnimétrique d'Ampasimaiky ($22^{\circ}22'32$ S; $46^{\circ}04'30$ E), de 2 m, a été implantée le 22 janvier 2001 sur un seuil rocheux, à environ 100 m en amont d'un barrage bétonné qui permet une dérivation dans des canaux d'irrigation. La section de la rivière où est située l'échelle est large d'environ 5 m et constituée de petits blocs rocheux mais aussi de dépôts sableux qui la rendent assez instable. Le choix d'implanter l'échelle à cet endroit est justifié tout d'abord par la nécessité de contrôler le bassin en amont du barrage (à partir duquel il y a des prélèvements, notamment par le canal d'irrigation) et en amont de tout secteur hydro-agricole.

Les lectures à l'échelle à Ampasimaiky ont été effectuées trois fois par jour, aux mêmes horaires que les relevés pluviométriques (6 h, 12 h et 18 h), sur la période allant du 22 janvier 2001 au 30 mars 2002. Ces données d'Ampasimaiky ont été recueillies avec comme objectif de comparer les écoulements à ceux du bassin voisin d'Ivatriana; où les prospections malacologiques étaient menées simultanément. Elles ne sont toutefois que partiellement exploitables car les épisodes de crues, relativement fugaces

sur ces petits bassins versants, se produisent - comme on le verra - majoritairement le soir ou la nuit et les relevés à 18 h et à 6 h n'en rendent donc pas forcément compte.

Par mesure de précaution, afin de pallier les lacunes en cas de panne des limnigraphes ou de repérer des dysfonctionnements des appareils, des lectures d'échelles ont été faites également trois fois par jour sur les deux stations, depuis leur date d'installation jusqu'au 30 mars 2002.

Les courbes des variations de la hauteur d'eau en fonction du temps (limnigrammes) ont été relevées toutes les semaines. Une seule lacune a été constatée, à Kelivondraka, entre le 3 et le 10 décembre 2001. Le traitement de ces données limnigraphiques consiste à établir des fichiers de données hauteur-temps, suivant un pas de temps d'une (1) heure au mieux.

Les données de hauteurs d'eau n'ont d'intérêt que si elles sont converties ensuite en débits instantanés et surtout dans le cas qui nous occupe en vitesses⁶ (vitesse moyenne, vitesse de surface, ou mieux vitesse maximale dans le champ de vitesses). Cette dernière variable est particulièrement importante à étudier ici, car dans les milieux hydrologiques courants de nos villages d'étude, c'est en grande partie en fonction de la vitesse que les mollusques hôtes intermédiaires se maintiennent ou non.

II.1.2- Les jaugeages : mesures de vitesses et de débits instantanés

Techniquement, il demeure qu'il est nécessaire de pratiquer des jaugeages, qui permettent d'apprécier le débit instantané, puisque jauger une rivière consiste à mesurer avec un moulinet (hélice) relié à un compteur donnant le nombre de tours effectués par l'hélice en un temps donné, en différents points de la section mouillée, la vitesse instantanée du courant.

Les jaugeages en hautes eaux ne peuvent être faits à gué. Une passerelle a donc été construite sur chacun des deux cours d'eau, à proximité des appareils de mesures.

A Kelivondraka, six (6) jaugeages ont été réalisés à différents moments de l'année au niveau de la station hydrométrique ; leurs caractéristiques sont regroupées en annexe 2.1. Douze (12) l'ont été Ampandratokana sur la rivière Ivatriana (annexe 2.2).

⁶ Une étude hydrologique classique privilégie la notion de débit. Mais les vitesses qui nous occupent peuvent être moyennes ou faibles dans le cas de cours d'eau à fort débit et inversement !

La vitesse moyenne (U en m/s) est calculée en faisant le rapport entre le débit instantané (m^3/s) et la section mouillée (m^2). A partir des vitesses enregistrées au plus près de la surface de l'eau (-5 cm) sur chacune des verticales de mesures et par des intégrations graphiques, on peut déterminer également une vitesse moyenne de surface (V_{ms}). En général, le rapport U/V_{ms} vaut entre 0,85 et 0,95. Par ailleurs, la vitesse moyenne (U) vaut de 0,6 à 0,8 fois la vitesse maximale dans le champ de vitesses (V_{max}) selon Roche, 1963.

II.1.3- Courbes de tarage : les débits et vitesses estimés

La courbe de tarage ou d'étalonnage d'une station hydrométrique, correspondant à un ajustement graphique et si possible mathématique des différents points de jaugeage (courbe hauteur – débit instantané), permet de convertir toutes les hauteurs d'eau enregistrées en un débit estimé correspondant. La qualité de la courbe dépend du nombre de points jaugés, de leur répartition si possible équitable entre hautes eaux et basses eaux. Dans notre travail nous n'avons pu effectuer que 12 jaugeages à Ampandratokana et 6 jaugeages à Kelivondraka, ce qui est peu. Sachant que les hautes eaux sont beaucoup plus difficiles à jauger pour des raisons techniques évidentes et aussi du fait de leur caractère fugace surtout sur de petits bassins, se pose généralement un problème d'extrapolation de la courbe. Toutefois, la qualité d'un tarage s'apprécie aussi à travers le rapport entre la hauteur maximum jaugée et la hauteur maximum enregistrée : sur les deux stations ce rapport est supérieur à 50% (tableau 6.2), ce qui est considéré conventionnellement comme satisfaisant.

	Hauteur maximale enregistrée (m)	Hauteur maximale jaugée (m)	Rapport Haut jaug./ Haut enreg.
Station hydrométrique de l'Ivatriana	1,85	1,39	75%
Station hydrométrique de la Bekinana	1,85	1,1	59%

Tableau 6.2 : Hauteurs d'eau maximales enregistrées et jaugées sur les 2 bassins-versants

La courbe de tarage de la rivière Ivatriana, s'ajuste suivant une fonction de type puissance, avec un coefficient de détermination (R^2) de 0,961 (figure 6.3).

L'équation en est :

$$Q = 0,5659 H^{4,2103}$$

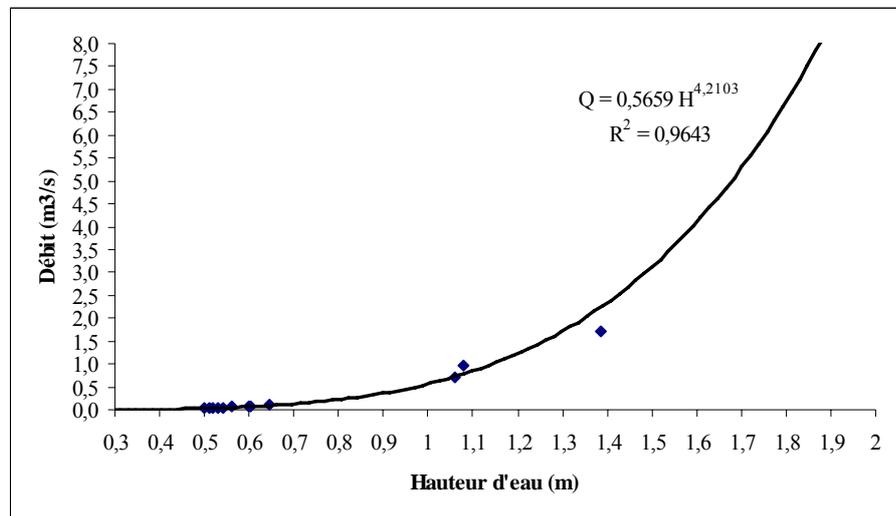


Figure 6.3 : Courbe de tarage de la rivière Ivatriana (Ampandratokana)

La courbe de tarage de la rivière Bekinana s'ajuste suivant une fonction de type puissance, avec un coefficient de détermination (R^2) de 0,9937 (figure 6.4).

L'équation en est :

$$Q = 0,5453 H^{5,179}$$

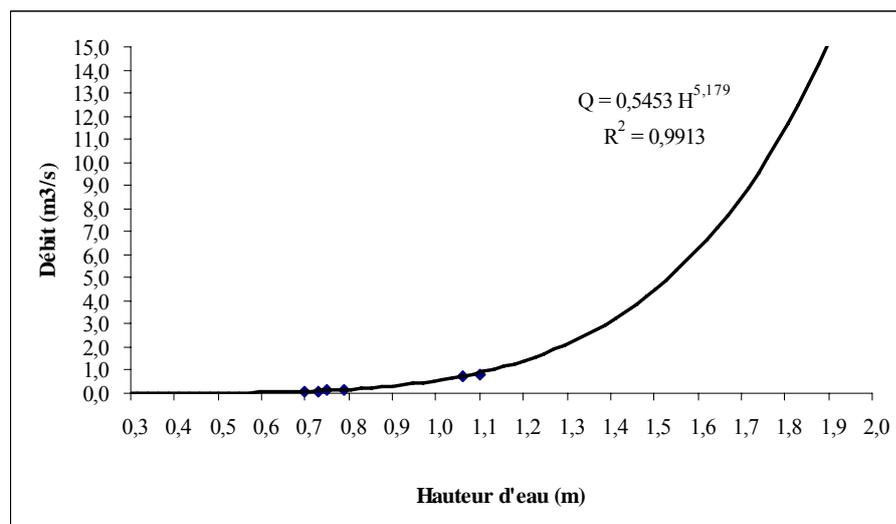


Figure 6.4 : Courbe de tarage de la rivière Bekinana (Kelivondraka)

Afin de pouvoir estimer les différentes valeurs de vitesses correspondant à une hauteur d'eau donnée au niveau des stations hydrométriques, les relations hauteurs-vitesses ont été établies de la même manière que pour la courbe de tarage, à partir des données de jaugages, et sont données dans le tableau 6.3.

	Ivatriana	Bekinana
Relation $U=f(H)$	$U=0,1657 H^{1,8272} (R^2=0,847)$	$U=0,1467 H^{4,1439} (R^2=0,9949)$
Relation $V_{ms}=f(H)$	$V_{ms}=0,1909 H^{2,2736} (R^2=0,8827)$	$V_{ms}=0,1544 H^{5,1342} (R^2=0,9885)$
Relation $V_{max}=f(H)$	$V_{max}=0,2367 H^{1,8272} (R^2=0,847)$	$V_{max}=0,2095 H^{4,1439} (R^2=0,9949)$

Tableau 6.3 : Relations hauteur-vitesses des bassins d'Ivatriana et de Bekinana

U : vitesse moyenne ; V_{ms} : vitesse moyenne de surface ; V_{max} : vitesse maximale dans le champ de vitesse ; H : hauteur d'eau

II.2- Variabilités des débits et des vitesses

Nous avons vu au chapitre 1 que *B. pfeifferi* privilégie les milieux hydriques calmes et notamment un écoulement lent. La rapidité du courant paraît empêcher l'établissement des mollusques, en particulier si l'eau est fortement chargée en limons ou autres particules en suspension. Le mécanisme de l'action défavorable exercé par la vitesse du courant semble dépendre de plusieurs facteurs : les mollusques sont balayés, la croissance des plantes aquatiques est gênée, le courant réduit les possibilités d'alimentation et de reproduction des mollusques. L'existence de secteurs protégés (petites anses) et de trous d'eau calmes favorise l'établissement des mollusques malgré le courant apparemment rapide (WHO, 1957).

Plusieurs études menées sur le terrain ont tenté d'estimer la vitesse limite au-delà de laquelle les mollusques ne pourraient plus se développer ou se maintenir. Au Sénégal les *B. pfeifferi* vivent dans des eaux dont la vitesse est inférieure à 0,3 m/s (Kuleuven-Saed), seuil qui a été également mis en évidence en Côte d'Ivoire (Mouchet et Brengues, 1990).

L'étude de la variabilité des débits mais surtout des vitesses (vitesse de surface et vitesse maximale dans le champ de vitesses) sera réalisée en rapport à la valeur-seuil de vitesse du courant qui limite le développement des mollusques.

II.2.1- Débits et vitesses en périodes d'étiages et de crues

Les débits instantanés ont été calculés à partir des courbes de tarage sur la période annuelle de mars 2001 à février 2002.

A Kelivondraka, la hauteur d'eau minimale enregistrée pour la rivière Bekinana au niveau de la station hydrométrique est de 0,67 m le 10/11/01 à 21 h, ce qui correspond à un débit de 68,5 l/s (8,3 l/s/km²) et une vitesse maximale (V_{max}) de 0,0196 m/s. L'écoulement n'est jamais interrompu, même en dehors de notre année d'étude, d'après les renseignements fournis par les autorités locales. Le plus fort débit estimé est de 13,19 m³/s (1600 l/s/km²) le 25/12/01 à 21 h pour une hauteur d'eau enregistrée de 1,85 m. Cette crue correspond à l'épisode pluvieux le plus important (76,8 mm), alors que ce même jour il n'a plu que 26,8 mm à Ampandratokana. Les vitesses moyennes (U) et maximales (V_{max}) correspondantes sont estimées respectivement à 1,88 m/s et 2,68 m/s, donc au-delà du seuil limitant (9 fois la valeur pour V_{max}) la survie de l'hôte intermédiaire.

A Ampandratokana, la hauteur d'eau minimale enregistrée pour la rivière Ivatriana au niveau de la station hydrométrique est de 0,49 m le 2/12/01 à 16 h, ce qui correspond à un débit très faible de 28,1 l/s (9,92 l/s/km²) et une vitesse maximale de 0,064 m/s. Si l'écoulement ne s'est jamais interrompu durant notre période de recherche, en revanche il semble que la rivière Ivatriana s'assèche parfois, d'après témoignages des autorités locales, notamment en 1994-95. Le plus fort débit a été estimé à 7,54 m³/s (2644 l/s/km²) le 8/02/02 à 23 h pour une hauteur enregistrée de 1,85 m. Les vitesses moyennes et maximales correspondantes sont estimées respectivement à 0,51 m/s et 0,73 m/s, qui se situent au-dessus de la valeur-seuil (2 fois la valeur-seuil) de 0,3 m/s. Cette crue correspond au deuxième épisode pluvieux le plus important (42,9 mm). Lors de l'épisode pluvieux le plus important (64,5 mm) le 1/12/01 (cf. chapitre 5) le débit au moment du pic de crue n'était que de 0,72 m³/s ; cette valeur plus faible est peu être liée à l'état de saturation moindre en début qu'en fin de saison des pluies, mais aussi à l'intensité importante de la pluie du 08/02/02 qui atteint 54 mm/h en 30 minutes (cf. chapitre 5). Le 2/01/02 l'épisode pluvieux de 53,7 mm (2^{ème} épisode le plus important) a généré une crue importante (débit de 4,42 m³/s et V_{max} au moment du pic de 0,77 m/s) : cet épisode témoigne de la saturation des sols et de l'intensité des pluies (34 mm/h en 30 minutes ; cf. chapitre 5).

Les vitesses maximales et moyennes de surface sont trois fois plus importantes pour la rivière Bekinana que pour la rivière Ivatriana lors des plus grandes crues enregistrées et à des dates différentes.

II.2.2- Caractéristiques des crues et des vitesses et impact potentiel sur *B. pfeifferi*

Le délai par rapport à la crue précédente (en jours), la durée de la crue (en heures), les hauteurs, débits et vitesses au moment du pic de crue sont les critères retenus.

Les caractéristiques de tous les épisodes de crue relevés au niveau des deux stations hydrométriques (tableau 6.4 pour Ivatriana et tableau 6.5 pour Bekinana), en prenant en compte le découpage par période saisonnière établi précédemment pour les pluies (cf. chapitre 5) sont analysées.

Période saisonnaire	Déb. (j/h)	Fin (j/h)	Jrs/C-1	Durée (h)	He max	U (m/s)	Vmax
					(m)	max	(m/s) max
SPf	08/03/01 21:00	09/03/01 07:00	-	10,0	1,48	0,339	0,485
	12/03/01 20:00	13/03/01 03:00	4	7,0	1,02	0,172	0,245
	27/03/01 16:00	28/03/01 02:00	15	10,0	0,97	0,157	0,224
	15/04/01 04:00	15/04/01 12:00	18	8,0	1,23	0,242	0,346
SPd	30/11/01 21:30	01/12/01 05:00	229	7,5	0,65	0,075	0,108
Spc	01/12/01 19:00	02/12/01 05:00	1	10,0	1,06	0,184	0,263
	04/12/01 00:00	04/12/01 07:00	2	7,0	0,60	0,065	0,093
	05/12/01 14:00	06/12/01 01:00	1	11,0	1,55	0,369	0,527
	06/12/01 20:00	07/12/01 07:00	1	11,0	1,25	0,249	0,356
	08/12/01 17:30	09/12/01 03:00	1	9,5	0,68	0,082	0,117
	23/12/01 21:00	24/12/01 06:00	15	9,0	1,12	0,204	0,291
	25/12/01 18:00	25/12/01 19:30	2	1,5	1,62	0,400	0,572
	25/12/01 19:30	25/12/01 23:00		3,5	1,50	0,348	0,497
	26/12/01 19:30	27/12/01 07:00	1	11,5	1,25	0,249	0,356
	27/12/01 16:00	28/12/01 10:00	0	18,0	1,20	0,231	0,330
	28/12/01 18:30	29/12/01 06:00	0	11,5	0,96	0,154	0,220
	30/12/01 14:00	30/12/01 19:00	1	5,0	0,84	0,120	0,172
	30/12/01 19:30	31/12/01 02:00	0	6,5	1,22	0,238	0,340
	31/12/01 17:00	31/12/01 21:00	1	4,0	0,74	0,096	0,137
	02/01/02 05:00	02/01/02 11:00	1	6,0	0,65	0,075	0,108
	02/01/02 11:00	02/01/02 14:30		3,5	1,13	0,207	0,296
	02/01/02 14:30	02/01/02 19:30		5,0	0,99	0,163	0,232
	02/01/02 20:00	03/01/02 08:00	0	12,0	1,63	0,405	0,578
	03/01/02 22:00	04/01/02 02:00	1	4,0	1,11	0,201	0,286
	14/01/02 22:00	15/01/02 02:00	11	4,0	0,66	0,078	0,111
	28/01/02 15:00	28/01/02 19:00	14	4,0	0,58	0,061	0,087
	30/01/02 22:30	31/01/02 12:00	2	13,5	1,80	0,485	0,693
	08/02/02 22:00	09/02/02 16:00	8	18,0	1,85	0,510	0,728
	09/02/02 19:30	10/02/02 11:00	0	15,5	1,01	0,169	0,241
	10/02/02 14:30	10/02/02 19:00	0	4,5	1,29	0,264	0,377
	10/02/02 21:00	10/02/02 23:00	0	2,0	0,71	0,089	0,127
	11/02/02 18:00	11/02/02 21:00	1	3,0	0,97	0,157	0,224
	11/02/02 23:00	12/02/02 05:00	0	6,0	1,53	0,360	0,515
	22/02/02 20:00	23/02/02 07:00	11	11,0	1,28	0,260	0,372
	23/02/02 23:30	24/02/02 07:00	1	7,5	0,95	0,151	0,216
	27/02/02 22:00	28/02/02 17:00	4	19,0	1,25	0,249	0,356

Tableau 6.4 : Caractéristiques simplifiées des crues d'Ivatriana à la station hydrométrique de mars 2001 à février 2002 (délai non précisé : crue dans la même journée)

Périodes saisonnières (SPf : fin de saison pluvieuse ; SPc : cœur de saison pluvieuse; SPd : début de saison pluvieuse) ; Déb : début de la crue ; Fin : fin de la crue ; Jrs/C-1 : nombre de jours séparant la crue précédente ; He max : hauteur d'eau au moment du pic de crue ; U (m/s) max : vitesse moyenne au moment du pic ; Vmax (m/s) max : vitesse maximale au moment du pic.

Période saisonnière	Déb. (j/h)	Fin (j/h)	Jrs/C-1	Durée (h)	He max	U (m/s)	Vmax
					(m)	max	(m/s) max
SPf	01/03/01 22:00	02/03/01 12:00	-	14,0	0,86	0,079	0,112
	05/03/01 21:00	06/03/01 16:00	3	19,0	1,85	1,877	2,681
	08/03/01 21:30	09/03/01 13:00	2	15,5	1,57	0,951	1,358
	12/03/01 21:00	13/03/01 18:00	3	21,0	1,21	0,323	0,462
	27/03/01 16:00	28/03/01 18:00	14	26,0	1,39	0,574	0,820
	29/03/01 21:00	30/03/01 18:00	1	21,0	0,82	0,064	0,092
	15/04/01 02:00	15/04/01 18:00	15	16,0	1,12	0,235	0,335
Spd	17/11/01 21:00	19/11/01 00:00	216	27,0	0,89	0,091	0,129
	27/11/01 19:00	28/11/01 12:00	9	17,0	0,88	0,086	0,123
	30/11/01 17:00	01/12/01 06:00	2	13,0	1,67	1,228	1,754
Spc	14/12/01 18:00	15/12/01 21:00	14	27,0	0,78	0,052	0,075
	16/12/01 19:00	17/12/01 17:00	1	22,0	0,82	0,064	0,092
	23/12/01 22:00	24/12/01 18:00	6	20,0	0,85	0,075	0,107
	25/12/01 18:00	26/12/01 12:00	1	18,0	1,85	1,877	2,681
	26/12/01 16:00	26/12/01 20:00	0	4,0	0,85	0,075	0,107
	26/12/01 20:00	27/12/01 07:00		11,0	1,41	0,609	0,870
	27/12/01 17:30	28/12/01 18:00	0	24,5	1,22	0,334	0,478
	28/12/01 17:00	29/12/01 18:00	0	25,0	1,29	0,421	0,602
	30/12/01 14:00	31/12/01 10:00	1	20,0	1,20	0,312	0,446
	31/12/01 17:00	01/01/02 11:00	0	18,0	1,07	0,194	0,277
	02/01/02 01:30	02/01/02 11:00	1	9,5	0,95	0,119	0,169
	02/01/02 11:00	02/01/02 20:30		9,5	1,24	0,358	0,511
	02/01/02 21:00	03/01/02 03:00	0	6,0	1,37	0,541	0,772
	15/01/02 12:00	16/01/02 06:00	12	18,0	0,83	0,068	0,097
	28/01/02 13:30	29/01/02 18:00	12	28,5	1,06	0,187	0,267
	30/01/02 23:00	31/01/02 18:00	1	19,0	0,88	0,086	0,123
	06/02/02 11:30	06/02/02 19:00	6	7,5	0,75	0,045	0,064
	08/02/02 22:00	09/02/02 12:00	2	14,0	1,54	0,878	1,254
	09/02/02 19:30	10/02/02 11:00	0	15,5	0,94	0,114	0,162
	10/02/02 15:00	11/02/02 06:00	0	15,0	0,90	0,095	0,135
	11/02/02 21:00	12/02/02 18:00	1	21,0	1,09	0,210	0,299
	22/02/02 21:00	24/02/02 19:00	10	46,0	0,93	0,109	0,155
	27/02/02 19:00	28/02/02 00:00	3	5,0	1,25	0,370	0,528
	28/02/02 00:00	28/02/02 06:00		6,0	1,58	0,976	1,394

Tableau 6.5 : Caractéristiques simplifiées des crues de Bekinana à la station hydrométrique de mars 2001 à février 2002 (délai non précisé : crue dans la même journée)

Périodes saisonnières (SPf : fin de saison pluvieuse ; SPc : cœur de saison pluvieuse; SPd : début de saison pluvieuse) ; Déb : début de la crue ; Fin : fin de la crue ; Jrs/C-1 : nombre de jours séparant la crue précédente ; He max : hauteur d'eau au moment du pic de crue ; U (m/s) max : vitesse moyenne au moment du pic ; Vmax (m/s) max : vitesse maximale au moment du pic.

Sur la période annuelle de mesures, toutes les crues se sont produites durant la saison humide. Le nombre d'épisodes est à peu près équivalent pour les 2 bassins, 36 crues pour Ivatriana et 34 crues pour Bekinana.

Parmi les 36 crues enregistrées sur la rivière Ivatriana (tableau 6.4), 16 présentent un pic de crue dont V_{max} dépasse 0,3 m/s ; 2 pendant la période SPf et 14 durant la période SPc. Durant cette période 4 crues ont dépassé le seuil de 0,3 m/s entre le 25/12/01 et le 26/12/01.

Pour la rivière Bekinana (tableau 6.5), sur les 34 crues enregistrées 16 ont des vitesses (V_{max}) supérieures à 0,3 m/s ; 5 dans la période SPf donc 4 avec des délais courts (2 à 3 jours), 1 dans la période SPd et 10 durant la période SPc. Durant la période SPc 4 épisodes de crue ont dépassé le seuil de 0,3 m/s entre le 28/12/01 et le 31/12/01.

Cela pourrait laisser présager un « effet-chasse » important des populations de mollusques au moment des grosses crues, tout au moins dans le lit principal des cours d'eau. Cette hypothèse sera étudiée dans le chapitre suivant.

Les premières grosses crues correspondant à la saison des pluies 2001-2002 sont enregistrées à partir du début du mois de décembre 2001, soit quelques semaines après les premiers grosses pluies (chapitre 5), ce qui met en évidence un décalage entre les premières pluies et les premières crues.

Dans les tableaux 6.4 et 6.5, nous avons indiqué les heures de début des crues et leur durée. L'analyse de l'heure moyenne de début des crues par période saisonnière montre que les crues débutent généralement en fin d'après-midi (SPf et SPc) et surtout en soirée (SPd), après 18 h. Cette référence horaire est liée à la prédominance du rythme nocturne des pluies dans les deux villages. A Ampandratokana, 79% des pluies qui se sont produites durant la période humide 2001-2002 (Spd+Spc) ont été enregistrées entre 18 h et 6 h.

La durée moyenne des crues pour toutes les périodes est deux fois plus courte pour l'Ivatriana (environ 8 heures) que pour la Bekinana (environ 17 heures). Ce phénomène est sans doute lié aux différences de relief entre les deux bassins. Le relief plus pentu du bassin de l'Ivatriana favorise évidemment un écoulement rapide mais l'imperméabilité des altérites sur le plateau de l'Horombe permet aussi des écoulements rapides, supérieurs d'après nos mesures de vitesse à ceux du bassin d'Ampandratokana.

Outre la durée des crues la relation pluie-débit permet d'apprécier de manière un peu plus précise le temps de réponse. Cette donnée ne peut être appréciée que dans la vallée d'Ihosy, en mettant en relation les relevés de pluies enregistrées par le pluviographe d'Ankily et les données pluviographiques de la rivière Ivatriana à Ampandratokana. Nous avons choisi de présenter deux exemples correspondant à des

épisodes de pluies et de crues majeurs, en nous assurant que les cumuls pluviométriques sont équivalents pour les 2 stations.

La figure 6.5 présente la relation pluie-débit de l'épisode hydrologique qui a débuté le 30/01/01 à 22 h soit 25 heures après la crue précédente. C'est un des épisodes de crue les plus importants enregistrés, avec une hauteur d'eau de 1,80 m.

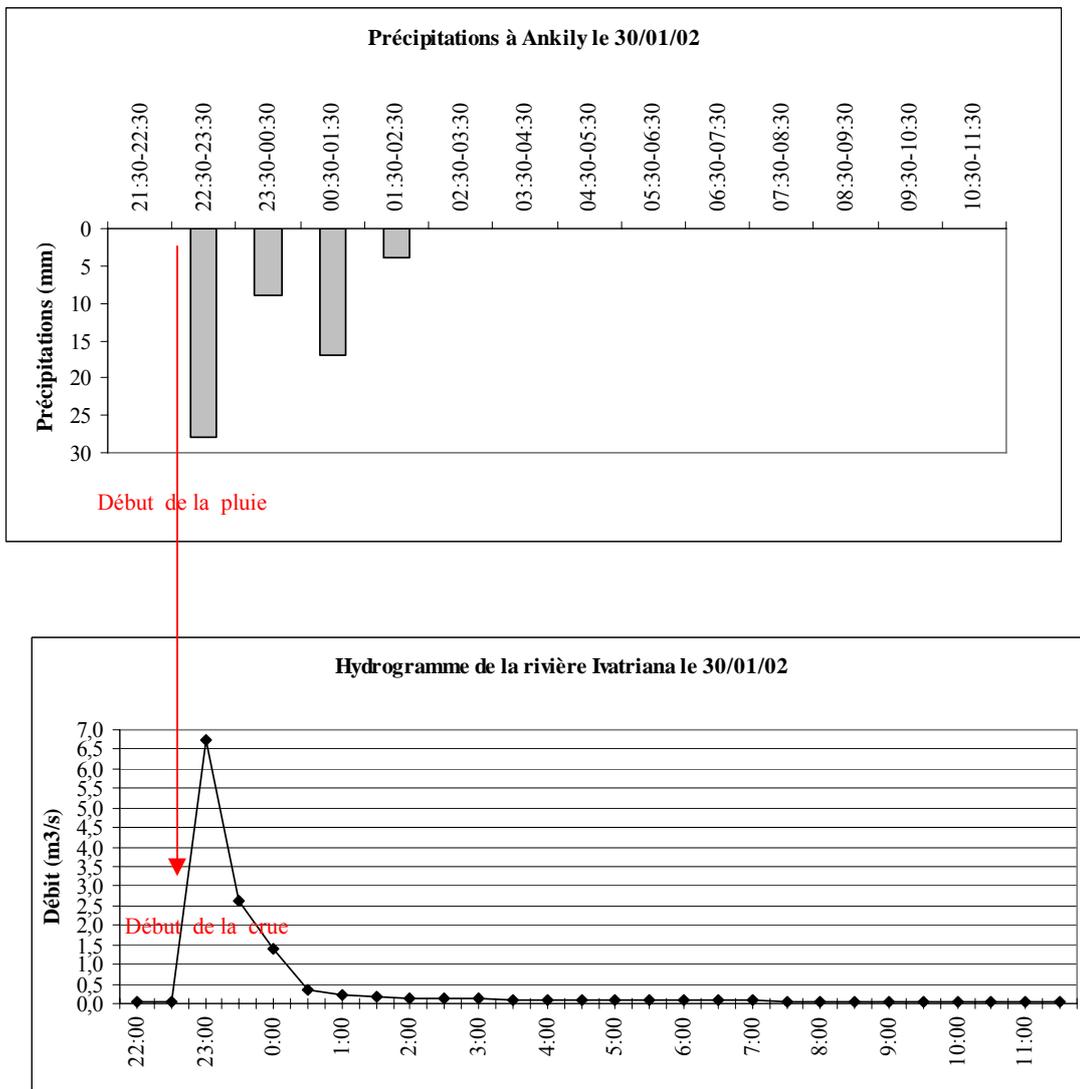


Figure 6.5 : Relation pluie-crue dans la vallée d'Ithosy le 30/01/02

Pour cet épisode le temps de réponse est quasi-immédiat pouvant s'expliquer par un début d'averse extrêmement intense (54 mm/h pendant 30 minutes).

Le deuxième épisode représenté sur la figure 6.6 correspond à la réponse hydrologique pluri-modale durant le passage de la forte tempête tropicale « Cyprien ».

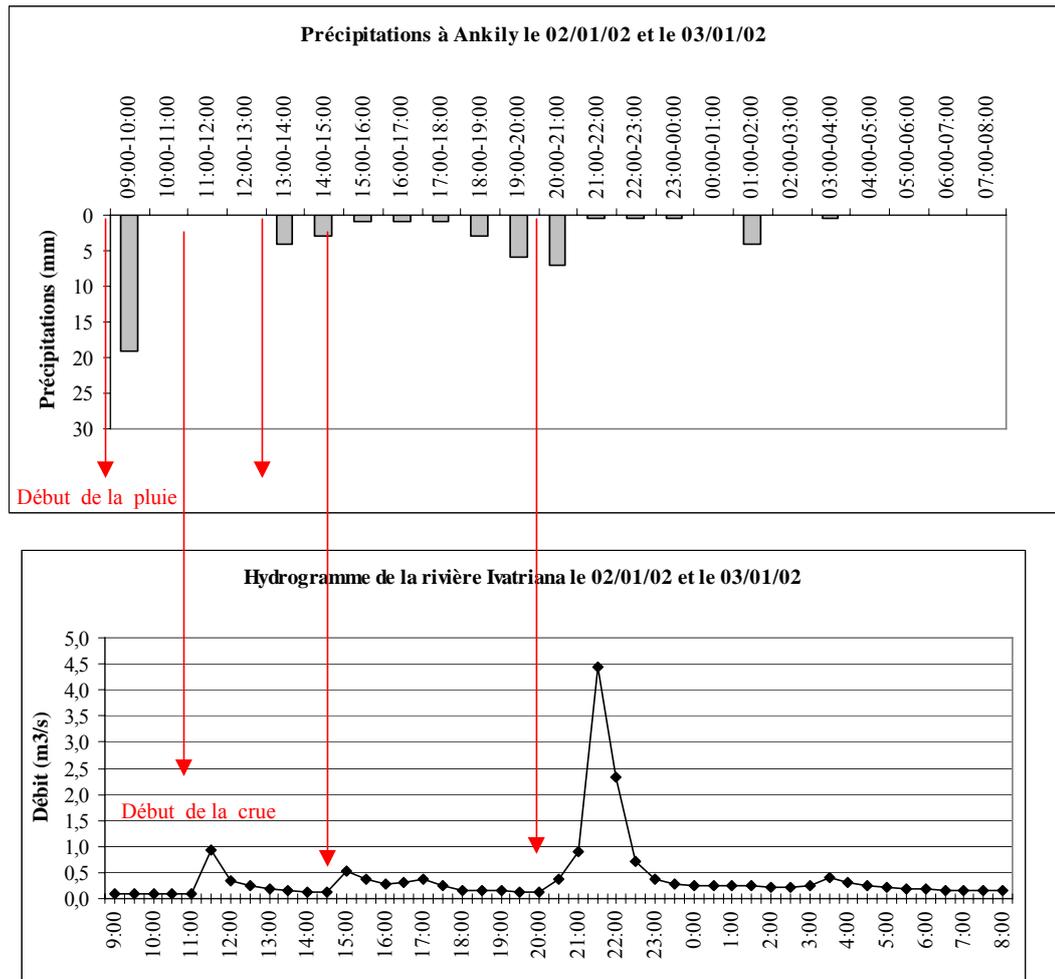


Figure 6.6 : Relation pluie-crue dans la vallée d'Ihoso les 02 et 03/01/02

Cet épisode montre qu'au début les temps de réponse sont d'environ 2 h et qu'ils diminuent au fur et à mesure pour être inférieurs à l'heure. Il illustre également l'intensification de la réponse hydrologique tout au long de l'épisode probablement lié à l'effet de saturation des sols.

Ces deux exemples confirment les temps de réponse courts de ce petit bassin-versant et mettent en évidence la relation de ces derniers avec des intensités de pluie marquées.

Les temps de réponse sur le bassin-versant de la Bekinana, probablement courts eux aussi, n'ont pas pu être appréciés en l'absence de pluviographe

L'installation de deux stations hydrométriques et d'une échelle limnimétrique simple dans les villages d'Ampandratokana et de Kelivondraka a demandé des moyens logistiques non négligeables mais elle a été nécessaire pour étudier de manière aussi précise que possible les réponses hydrologiques des cours d'eau.

L'analyse des différentes données hydrologiques (hauteurs de lame d'eau, jaugeages, débits) nous a permis de réaliser une caractérisation des réponses hydrologiques de petits bassins-versants dans la région d'Ihosy, jamais effectuée jusqu'ici.

Plusieurs résultats se dégagent au terme de ce chapitre.

Il ressort en premier lieu une relative hétérogénéité dans les caractéristiques morphométriques et physiographiques des bassins-versants étudiés. Le bassin de la rivière Bekinana à Kelivondraka est plus grand, plus compact que les deux bassins d'Ampandratokana. En revanche, il est beaucoup moins pentu. Les caractéristiques pédologiques reflètent des milieux différents ; présence d'altérites épaisses sur le bassin de Bekinana, rocheuses affleurantes ou subaffleurantes en proportion importante ou de sols rouges très durcis avec des épandages caillouteux à Ampandratokana.

L'analyse des débits a été effectuée uniquement pour les bassins de l'Ivatriana et de la Bekinana. Le nombre de crues enregistrées durant la période d'étude pour les deux bassins est comparable. Les vitesses maximales atteignent, pour une hauteur maximale de 1,85 m, 0,72 m/s à Ampandratokana (pluie de 42,9 mm le 08/02/02) et 2,68 m/s à Kelivondraka (pluies de 63,6 mm le 05/03/01 et de 76,8 mm le 25/12/01).

En début de saison pluvieuse les crues sont majoritairement nocturnes, peu fréquentes, assez lentes, peu marquées car les précipitations peuvent s'infiltrer. Au cœur de la saison des pluies les crues débutent plus tôt dans la soirée voire dans l'après-midi. Elles sont beaucoup plus nombreuses et rapprochées et ont des hauteurs et débits maximum instantanés en augmentation. Les temps de réponse s'écourtent en raison des

pluies agressives (intensités croissantes) et fréquentes qui provoquent une saturation des sols. Au mois de janvier 2002, le « break pluviométrique » se répercute sur les réponses hydrologiques du bassin de la Bekinana qui enregistrent une récession avant de connaître en février une stabilisation des débits. Ce phénomène n'est pas observé pour le bassin de l'Ivatriana qui enregistre des crues importantes notamment au début et à la fin du mois de janvier.

Cette analyse temporelle des réponses hydrologiques nous a permis de montrer qu'il y a un décalage de plus d'un mois entre les premières pluies et les premières crues importantes.

Mais plus que les caractéristiques des crues, ce sont les valeurs de vitesse maximales estimées au moment des pics de crue qui nous intéressent par rapport aux mollusques *B. pfeifferi*. L'impact des différents facteurs hydro-climatiques sur les populations de mollusques sera analysé précisément dans le chapitre suivant.

-CHAPITRE 7-

VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DES POPULATIONS DE *B. PFEIFFERI* SOUS LES CONTRAINTES HYDRO-CLIMATIQUES

La transmission de la schistosomose intestinale a été caractérisée à plusieurs reprises comme très fragmentée dans l'espace (Brillet, 2000), parfois même dite focale (Babiker *et al.*, 1985 ; Woolhouse & Chandiwana, 1989). Selon Brillet (2000) « cette distribution est également connue pour être souvent fluctuante au cours du temps. Cette fragmentation est liée au maximum de contraintes qui pèsent sur la fermeture de ce cycle parasitaire, à commencer par la nécessité d'un mollusque d'eau douce comme hôte intermédiaire. La nécessité d'un double passage du parasite dans le milieu extérieur est un second facteur limitant ».

Les facteurs qui contribuent à la focalisation englobent l'hétérogénéité spatio-temporelle de la présence et de la dynamique des populations des mollusques hôtes intermédiaires et de leur exposition au parasite (Woolhouse & Chandiwana, 1989). Plusieurs études, à Madagascar (Pfluger, 1977), en République Démocratique du Congo (Bagalwa & Baluku, 1998), au Soudan (Babiker *et al.*, 1985) ont montré la variation saisonnière des effectifs de *B. pfeifferi* avec un maximum en saison sèche correspondant à la hausse des températures et un minimum en saison des pluies lié aux précipitations et aux crues.

L'objectif de ce chapitre est d'apprécier la distribution dans l'espace et dans le temps des mollusques à l'échelle de divers biotypes (types de biotopes) hydriques et des biotopes (stations) de deux foyers bilharziens, sous l'influence des facteurs climatiques (pluies et températures) et des variations hydrologiques (crues), générées par les pluies. L'étude se concentre surtout autour des réseaux hydrographiques, jusqu'à leurs sources ; cette question n'avait jamais été abordée dans la région d'Ihosy.

Compte tenu de la grande diversité des milieux hydriques présents dans les villages d'Ampandratokana et de Kelivondraka (chapitre 4), nous présenterons en

premier lieu les stations prospectées d'après la typologie des milieux hydriques développée au chapitre 3. Les taux d'occupation par biotype et les divergences spatiales à l'échelle des stations seront étudiés en second lieu. L'évolution saisonnière des effectifs de mollusques, abordée en troisième lieu, permettra de préciser les périodes où ces derniers sont abondants et d'analyser l'influence des facteurs hydro-climatiques sur la variation des effectifs.

I- Enquêtes malacologiques et typologie des milieux hydriques prospectés

Dans chacun des bassins-versants des cours d'eau étudiés, un suivi régulier de différents biotopes aquatiques a été effectué à partir de mars 2001 durant une année dans le but de décrire la variation spatio-temporelle des effectifs des *B. pfeifferi* et sa relation avec les facteurs abiotiques du milieu, plus précisément avec les facteurs hydro-climatiques (chapitre 5 et 6). L'intérêt de ces recherches est aussi de déterminer la variété et les types de biotopes susceptibles d'héberger les mollusques.

I.1- La collecte des données malacologiques

Les prospections malacologiques sont effectuées au niveau de différentes stations qui peuvent être un "plan" (puisard, retenue...), de quelques mètres carrés, ou une "ligne" (rive de cours d'eau, canal...) d'une dizaine de mètres de longueur. Les mollusques sont recherchés manuellement sur les différents supports (rochers, plantes aquatiques) au niveau des berges et du lit pendant 5 à 10 minutes, au moyen d'une pince et surtout d'une passoire métallique de 20 cm de diamètre, de maille égale à 2 mm, fixée sur un manche en bois de 1,70 m de longueur. Les stations sont visitées entre 07 h et 17 h, sur deux jours et demi en général (une journée pour Kelivondraka et une journée et demi pour Ampandratokana).

Les prospections sont réalisées avec une périodicité de trois semaines environ (les contraintes logistiques n'ont pas toujours permis de respecter ce pas de temps). Elles ont eu lieu du début du mois de mars 2001 à la fin du mois de février 2002.

Deux protocoles de collecte ont été établis :

- le premier, auquel nous avons activement participé, concerne la moitié des campagnes, réalisées toutes les six semaines, avec le soutien de l'Equipe Schistosomoses de l'IRD ; il est complété, après comptage des mollusques, par un test

réalisé à Ihosy le jour de la collecte, permettant de détecter le parasite chez les *B. pfeifferi* récoltés (émission des cercaires sous stimulus lumineux) ;

- le second, appliqué avec l'aide de notre collaborateur malgache, consiste à prospecter et compter les *B. pfeifferi*, à trois semaines des récoltes précédentes (prospections intermédiaires sans test d'émission cercarienne).

A chaque prospection, la date et l'heure sont relevées en complément des observations sur la végétation (en bordure, en surface ou immergée) et la fréquentation par les hommes et les animaux. Les températures de l'air et de l'eau sont mesurées selon le protocole décrit au chapitre 5 et le pH déterminé au papier pH.

La distinction des genres de mollusques se fait au moment de la récolte, selon Brown (1994). Les effectifs des différents genres sont relevés sur des fiches de prospection malacologique.

A l'exception des *B. pfeifferi* testés positifs, congelés pour analyses, tous les mollusques sont remis dans leur milieu, le lendemain (*B. pfeifferi* testés négatifs), ou immédiatement (*B. pfeifferi* des prospections sans test d'émission, autres genres), afin que les prélèvements répétés influent le moins possible sur l'étude. En raison du contexte de traitement de masse préalable à notre étude, nous avons seulement trouvé 6 mollusques infestés à Ampandratokana (dont 4 sur un même canal : station IV2) et aucun mollusque infesté n'a été trouvé à Kelivondraka.

I.2- Diversité des biotopes aquatiques prospectés

Les stations de prospections malacologiques correspondent majoritairement aux sites de contact très fréquentés par les populations villageoises lors de leurs activités directement ou indirectement liées à l'eau. En outre, des stations peu fréquentées sont prospectées dans des milieux hydriques, définis selon la typologie présentée au chapitre 3. Ont été exclus des prospections les puits, biotopes qui ne présentent aucun risque de transmission de la maladie, du fait de l'absence de souillure.

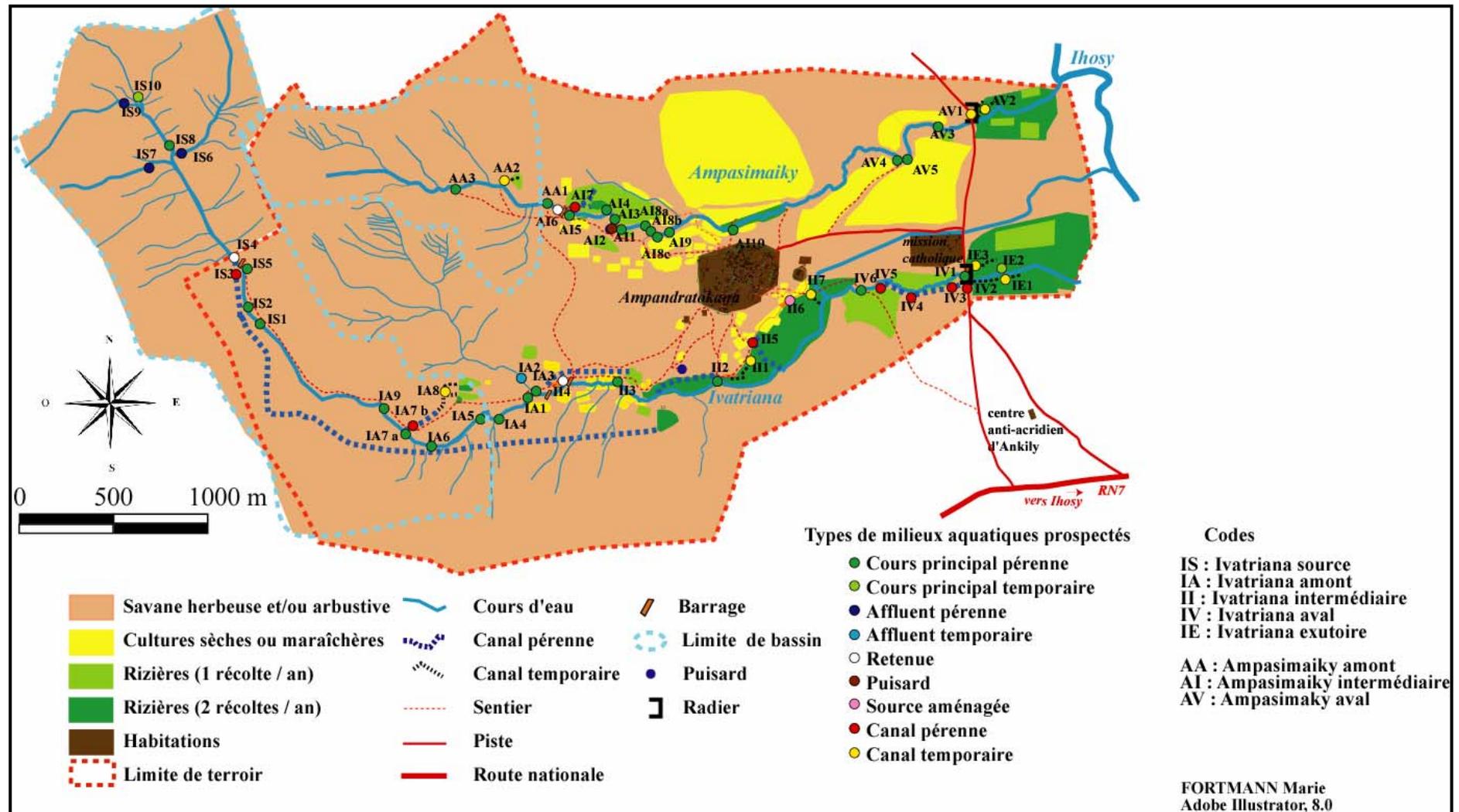
Les enquêtes malacologiques ont concerné un total de 91 stations réparties dans toutes les collections d'eau susceptibles de constituer des biotopes pour *B. pfeifferi* ; 56 stations se trouvent autour d'Ampandratokana (carte 7.1), dont 36 dans le bassin d'Ivatriana et 20 dans le bassin d'Ampasimaiky ; 35 stations sont localisées à Kelivondraka (carte 7.2).

Le tableau 7.1 donne les effectifs des stations en fonction des biotypes pour chacun des 3 bassins et la distribution tous bassins confondus.

Biotype	Ivatriana	Ampasimaiky	Bekinana	Trois bassins	
	Effectif Stations	Effectif Stations	Effectif Stations	Effectif Stations	Distrib. (%)
Cours principal pérenne	16	14	17	47	51,6%
Canal pérenne	10	2	2	14	15,4%
Affluent pérenne	3	0	4	7	7,7%
Affluent temporaire	1	0	5	6	6,6%
Canal temporaire	2	2	1	5	5,5%
Puisard	0	1	3	4	4,4%
Retenue	2	1	0	3	3,3%
Cours principal temporaire	1	0	2	3	3,3%
Exurgence aménagée	1	0	0	1	1,1%
Parcelle rizicole	0	0	1	1	1,1%
Tous biotypes	36	20	35	91	100,0%

Tableau 7.1 : Effectifs et distribution des stations prospectées dans les 3 bassins pour chacun des biotypes représentés

Tous bassins confondus, le biotype de cours principal pérenne est le plus représenté (52% des stations), tandis que les autres biotypes courants pérennes (canal pérenne et affluent pérenne) représentent 23% des stations et les biotypes courants temporaires (affluent et canal temporaires) concernent 12% des stations. Les autres biotypes concernent une proportion faible de l'effectif total des stations. Les parcelles rizicoles sont sous-représentées dans l'échantillonnage (une station à Kelivondraka) car les prospections malacologiques menées dans la région d'Ihoso depuis 1999 ont montré l'absence de *B. pfeifferi* dans ce biotype.



Carte 7.1 : Types et codes des stations de prospections malacologiques à Ampandratokana (Ivatriana et Ampasimaiky)

II- Analyse multi-échelles de la distribution spatiale de *B. pfeifferi*

Les prospections malacologiques ont mis en évidence divers genres de mollusques tels que *Cleopatra*, *Melanoides*, *Afrogyrus*, *Lymnea*, *Bulinus* qui n'interviennent pas dans la transmission de *S. mansoni*, mais qui peuvent entrer en compétition avec *B. pfeifferi*.

Bien que ce soit l'impact des facteurs hydro-climatiques sur les milieux de transmission potentiels qui nous intéresse particulièrement, il est nécessaire de déterminer en premier lieu où se situent les populations de *B. pfeifferi* parmi les différentes stations prospectées. L'étude des fluctuations des effectifs des mollusques dans le temps se fera alors sur les stations qui ont révélé la présence de *B. pfeifferi*. L'analyse spatiale de la présence de ce dernier dans les milieux hydriques peut être appréciée à différentes échelles analytiques emboîtées.

II.1- Taux d'occupation des biotypes par *B. pfeifferi*

Le premier niveau d'analyse nous amène à considérer les mollusques en termes de présence/absence, afin de distinguer les biotypes qui présentent des conditions favorables ou non au développement des mollusques. Le taux d'occupation est la proportion de stations qui hébergent *B. pfeifferi* pour un biotype donné. L'occupation par le mollusque dans les différents biotypes (tableau 7.2) montre une importante hétérogénéité dans chacun des bassins et d'un bassin à l'autre.

Biotype	Ivatriana	Ampasimaiky	Bekinana	Trois bassins	
	Effectif Stations	Effectif Stations	Effectif Stations	Effectif Stations	Distrib. (%)
Cours principal pérenne	16	14	17	47	51,6%
Canal pérenne	10	2	2	14	15,4%
Affluent pérenne	3	0	4	7	7,7%
Affluent temporaire	1	0	5	6	6,6%
Canal temporaire	2	2	1	5	5,5%
Puisard	0	1	3	4	4,4%
Retenue	2	1	0	3	3,3%
Cours principal temporaire	1	0	2	3	3,3%
Source aménagée	1	0	0	1	1,1%
Parcelle rizicole	0	0	1	1	1,1%
Tous biotypes	36	20	35	91	100,0%

Tableau 7.2 : Occupation des biotypes par *B. pfeifferi*, par bassin et globalement
Stations à B.p : Stations où *B. pfeifferi* est collecté ; % stations à B.p : % de stations avec B.p
par rapport aux stations examinés (cf. tableau 7.1)

Tous bassins confondus, le biotype "puisard" est très favorable aux mollusques puisque les 4 stations (3 dans le bassin Bekinana et 1 dans le bassin Ampasimaiky) en sont peuplées. Ce sont des biotopes stagnants, riches en matière organique, peu profonds, caractéristiques qui correspondent bien aux exigences écologiques de *B. pfeifferi*.

Le biotype "retenue" arrive en deuxième place (avec 2 stations positives sur les 3 prospectées à Ampandratokana). Seules les 2 stations du bassin Ivatriana sont positives, car ces biotopes bénéficient d'une position de relatif abri créé par le barrage. Dans le biotope de retenue d'Ampasimaiky, un peu plus instable (ouverture fréquente des vannes), aucun mollusque n'a été trouvé durant notre étude.

Le biotype "cours principal pérenne" s'avère également favorable aux mollusques puisque 66% des stations (31/47) ont révélé leur présence à un moment ou à un autre de la période d'étude. Des variations apparaissent toutefois entre les différents bassins, avec une proportion plus importante dans le bassin Bekinana (76%) que dans les bassins Ampasimaiky (64%) et Ivatriana (56%).

Les biotypes de "canaux pérennes" ont tendance (résultat non vérifiable par le test de Khi-2) à être plus colonisés que ceux de "canaux temporaires" (57% (8/14) contre 40% (2/5)).

Les taux d'occupation en "affluent pérenne" (14%) sont largement inférieurs à ceux en "cours principal pérenne" (66%), ce qui confirme la préférence du mollusque pour les milieux assez courants et bien oxygénés.

Enfin, les biotypes de cours d'eau temporaires (section principale et affluents), situés en grande majorité dans la partie amont des bassins-versants, sont peu favorables aux mollusques, dont les exigences écologiques correspondent à des milieux pérennes (aucun des 9 sites prospectés n'a révélé leur présence).

II.2- Effectifs de *B. pfeifferi* selon les biotypes

Après avoir analysé les taux d'occupations des biotypes par *B. pfeifferi*, nous allons nous intéresser aux variations dans le temps des effectifs de mollusques récoltés. L'analyse fine de la dynamique des populations (croissance, reproduction), appréciée à partir de la taille des individus (morphométrie), n'a pas été réalisée ici car cela nous éloignait trop de notre discipline.

Nous avons choisi de travailler sur des effectifs horaires (effectifs récoltés en 5 ou 10 mn par 2 ou 3 ramasseurs, ramenés à une seule personne et à 60 mn). L'effectif horaire cumulé est calculé pour chaque station du bassin Bekinana à Kelivondraka (tableau 7.3) et des deux bassins d'Ampandratokana (tableau 7.4), à partir des effectifs horaires des 16 campagnes de prospection durant toute la période d'étude.

	Station	Type de biotope	Effectif horaire cumulé de <i>B. pfeifferi</i>
bassin Bekinana	KI 07, KI05a, KV07, KV08	cours ppal pérenne	0
	KV 03ab		18
	KV 11		24
	KI 05b		84
	KV 02		114
	KV 01		156
	KV 04b		210
	KI 02		234
	KI 04		234
	KA 13		282
	KI 03		384
	KV 04a		432
	KA 03		960
	KA 02	1152	
	KA 06, KA09, KA12	affluent pérenne	0
	KI 08		120
KV 10	puisard	66	
KI 06		480	
KV 09		4038	
KV 12	canal pérenne	0	
KV 05		318	
KA 01, KA04	cours ppal temporaire	0	
KA 05, KA07, KA08, KA10, KA11	affluent temporaire	0	
KV 06	canal temporaire	6	
KI 01	parcelle rizicole	0	

Tableau 7.3 : Effectifs horaires cumulés (16 prospections) de *B. pfeifferi* par station à Kelivondraka (Bekinana)

	Station	Type de biotope	Effectif horaire cumulé de <i>B. pfeifferi</i>
bassin Ivatriana	IS 04	retenue	222
	II 04	retenue	522
	IV 06, II 02, II 03, IA 09, IS 01, IS 05, IS 07, IA 07a	cours ppal pérenne	0
	IV 01		12
	IE 02		30
	IA 06		66
	IS 02		270
	IA 01		300
	IA 03		402
	IA 04ab		408
	IA 05		1116
	IA 05		1272
	IS 06, IS 07, IS 09	affluent pérenne	0
	II 06	source aménagée	0
	IA 07b, II 05, IV 05, II 01	canal pérenne	0
	IA 08		198
	IV 03		210
IE 03	252		
IS 03	486		
IV 04	996		
IV 02	1062		
IS 10	cours ppal temporaire	0	
IA 02	affluent temporaire	0	
II 07	canal temporaire	0	
IE 01		60	
bassin Ampasimaiky	AI 06	retenue	0
	AI 10, AA 01, AA 03, AI 03, AI 05	cours ppal pérenne	0
	AI 01		12
	AV 05		36
	AI 08a		84
	AV 04		108
	AV 03		114
	AI 08b		228
	AI 09		372
	AI 04		480
	AI 08c		2940
	AI 02	puisard	456
	AI 07	canal pérenne	0
AV 01	54		
AA 02, AV 02	canal temporaire	0	

Tableau 7.4 : Effectifs horaires cumulés (16 prospections) de *B. pfeifferi* par station à Ampandratokana (bassins Ivatriana et Ampasimaiky)

Afin d'analyser les variations d'effectifs, les valeurs horaires cumulées moyennes par biotype positif sont déterminées en faisant la somme des effectifs horaires cumulés de chaque station positive relevant de ce biotype, divisée par le nombre de stations positives (tableau 7.5).

Biotype	Ivatriana	Ampasimaiky	Bekinana	Trois bassins	
	Ehc B.p	Ehc B.p	Ehc B.p	Ehc B.p	Distribution
Puisard	-	456	1528	1260	47,8%
Canal pérenne	534	54	318	447	17,0%
Cours ppal pérenne	431	486	330	404	15,3%
Retenue	372	-	-	372	14,1%
Affluent pérenne	-	-	120	120	4,6%
Canal temporaire	60	-	6	33	1,3%
Total	1397	996	2302	2636	100%

Tableau 7.5 : Effectifs horaires cumulés moyens de *B. pfeifferi* (Ehc B.p) par biotype positif (cf. tableau 7.2) et distribution dans les 3 bassins

En reliant les effectifs et les taux d'occupation (tableau 7.2) tous bassins confondus, trois groupes de biotypes peuvent être distingués.

Le premier est représenté par le seul biotype puisard qui présente l'effectif maximum (1260) et un taux d'occupation de 100%. Il présente des conditions écologiques très favorables à *B. pfeifferi*.

Le deuxième englobe les biotypes de canal pérenne, cours principal pérenne, et retenue, dont les taux d'occupation sont supérieurs à 50% (respectivement 57, 66 et 67%) et les effectifs importants (respectivement 447, 404 et 372).

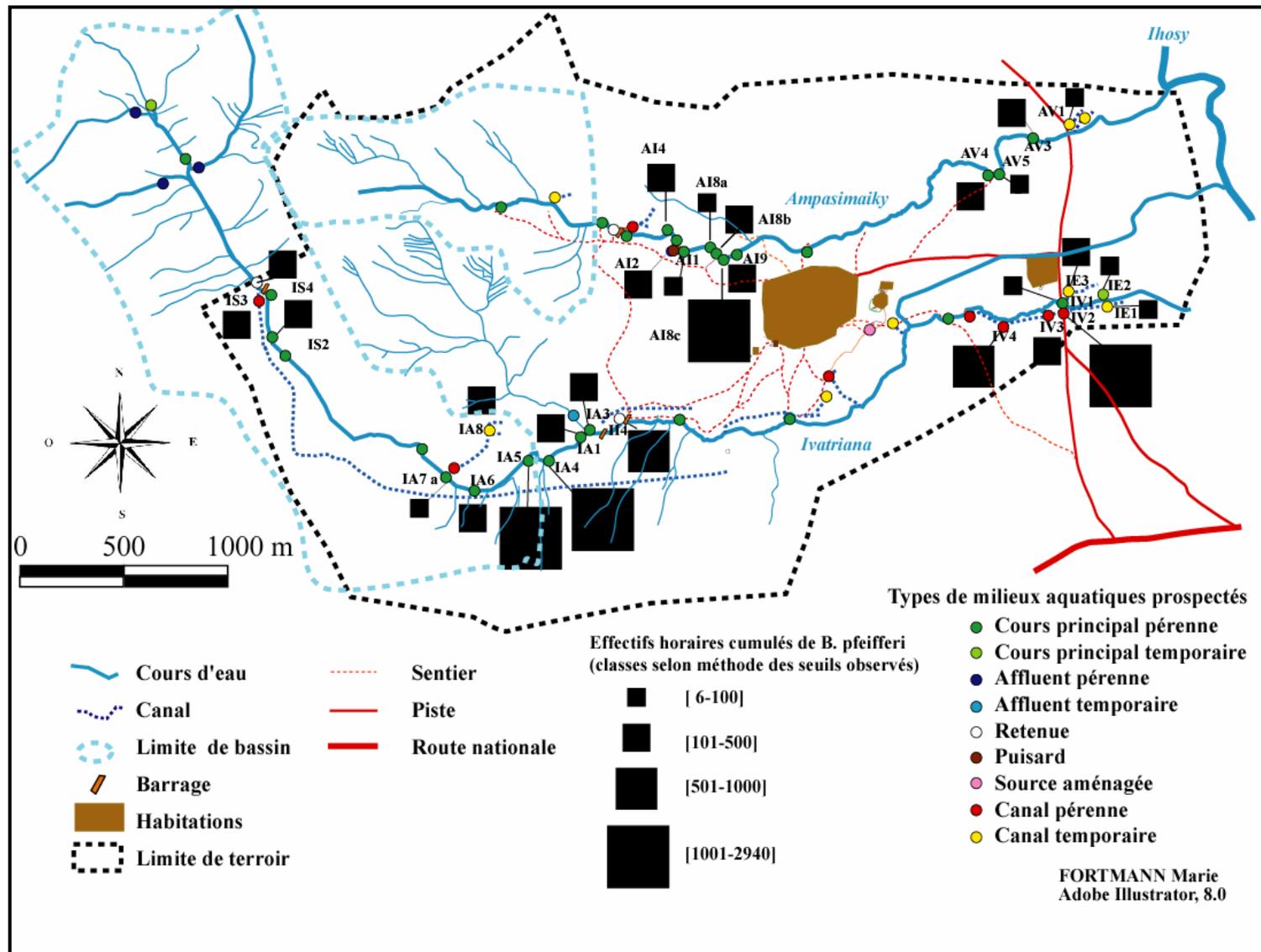
Le troisième concerne les biotypes dont les effectifs sont faibles et les taux d'occupation bas ; il s'agit de l'affluent pérenne (respectivement 120 et 14%) et du canal temporaire (respectivement 33 et 40%).

Il y a donc une relation entre les effectifs et les taux d'occupation dans les différents biotypes.

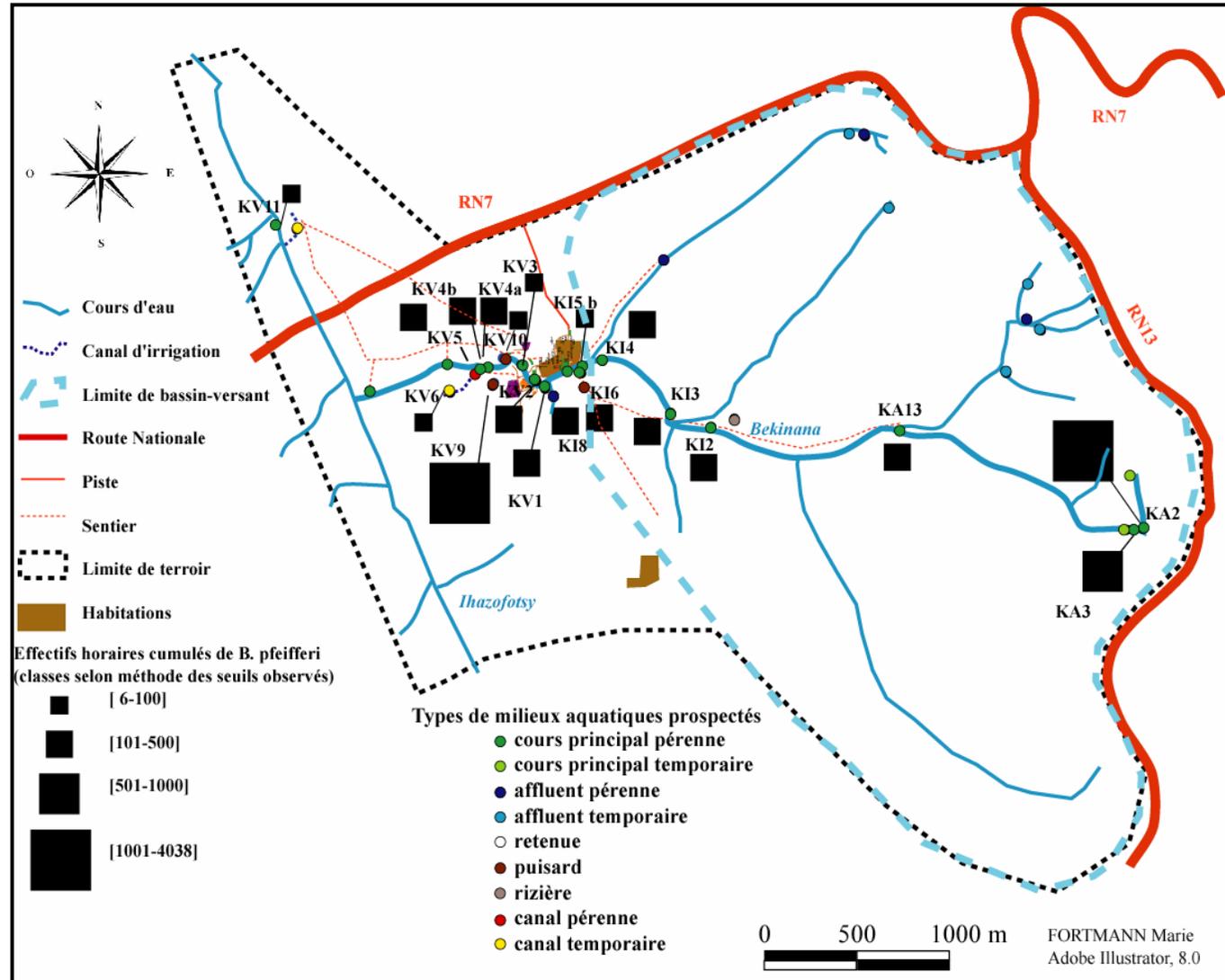
II.3- Distribution spatiale de *B. pfeifferi*

Si les cours d'eau abritent une part importante des mollusques collectés, il est nécessaire de souligner que le cours principal pérenne dans son ensemble ne peut potentiellement répondre uniformément aux exigences écologiques du mollusque hôte (cf. chapitre 1).

Ces variations locales justifient donc que l'on s'intéresse aux effectifs à l'échelle de la station, dans les bassins Ivatriana et Ampasimaiky (carte 7.3) comme dans le bassin Bekinana (carte 7.4). Dans un souci de clarté de représentation, nous avons distingué 4 classes d'effectifs en fonction de la méthode des seuils observés, en prenant en compte les données des 3 bassins. Cette analyse nous permet de localiser précisément les stations où le mollusque est présent en abondance et de situer les sites de transmission potentiels de la maladie.



Carte 7.3 : Effectifs horaires cumulés de *B. pfeifferi* par station à Ampandratokana (16 prospections, période de mars 2001 à février 2002)



Carte 7.4 : Effectifs horaires cumulés de *B. pfeifferi* par station à Kelivondraka (16 prospections, période de mars 2001 à février 2002)

La lecture des cartes met en évidence de fortes disparités dans la répartition spatiale des effectifs horaires cumulés par station dans les différents bassins.

Dans le bassin Ivatriana, la partie source de la rivière est dépourvue de mollusques. La présence de *B. pfeifferi* depuis la source n'est constatée qu'au point IS4, qui est une retenue, dont les conditions écologiques (milieu pérenne, eau relativement stagnante en dehors des périodes de crue, faible pente) semblent lui être favorables.

En aval du barrage, qui constitue la limite du terroir, et jusqu'au site IA7a, seul le site IS2 a révélé la présence en effectif réduit du mollusque. Cette station IS2 présente une configuration topographique relativement plane, alors qu'en aval une rupture de pente limite le développement des mollusques. La pente du cours d'eau s'atténue à partir du point IA7a, où les mollusques réapparaissent. Tous les sites prospectés sur la rivière entre ce point et II4 ont montré la présence du mollusque, avec des effectifs variables sur à peine 500 m : la présence de biotopes protégés (végétation abondante) au niveau des sites IA5 et IA4 explique l'effectif important de mollusques (>1000) par rapport aux autres sites plus exposés au courant.

Au-delà de la station II4 et jusqu'à la station IV2 aucune trace du mollusque n'est trouvée dans le cours d'eau, qui s'anastomose et est dévié en canaux dans le périmètre rizicole. Nous émettons l'hypothèse que l'anthropisation de ce bassin est trop intense pour permettre au mollusque de se développer correctement. En revanche, ce dernier a été collecté en abondance (autour de 1000) dans les canaux des périmètres rizicoles moins exploités (à une récolte par an) situés près de la piste d'Ankily (points IV2 et IV4). L'effectif est moins important à la station IV3 qui est en aval d'une bifurcation du canal. En aval de la piste, les effectifs sont un peu moins importants, sans doute en liaison avec une dispersion dans les canaux plus nombreux et temporaires. Le cours d'eau temporaire en aval de la piste en héberge également mais l'effectif est faible.

Le degré d'anthropisation des milieux influence donc le développement des mollusques *B. pfeifferi*.

Dans le bassin Ampasimaiky, la distribution spatiale des effectifs de mollusques est comparable à quelques exceptions près. Les similitudes concernent l'absence de mollusques dans la partie source de la rivière liée au relief escarpé, une zone intermédiaire du cours d'eau fortement colonisée dont la station AI8c (effectif maximum), grande vasque peu profonde et à courant faible dans le lit de la rivière. On retrouve la présence du mollusque en aval de la piste (station AV1).

Les dissemblances s'expriment par l'absence de mollusque en amont de la retenue sur la rivière Ampasimaiky, au moins à partir du début de notre recherche, puisque jusqu'en décembre 2001 les prospections malacologiques avaient montré sa présence en

abondance à cette station (comm. pers. P. Brémond) ; sa disparition est peut-être liée à un événement hydrologique important entre le mois de janvier et mars 2001.

Dans le bassin Bekinana, la zone source de la rivière abrite des mollusques en assez grand nombre (stations KA2 et KA3). Ils sont caractérisés par un faible écoulement, une végétation aquatique abondante (herbacées, nénuphars) propices au développement de *B. pfeifferi*. Ces conditions hydrologiques sont directement liées à la topographie de faible pente du bassin-versant décrite dans le chapitre précédent. En revanche, les sites de cours principal temporaire n'abritent aucun mollusque, tout comme les sites d'affluents. La distribution spatiale des mollusques dans le cours principal est marquée par une continuité d'occupation (76% des stations) avec des effectifs horaires cumulés assez homogènes (autour de 200). Cela traduit des conditions écologiques assez stables, reflet d'un milieu naturel uniforme. Nous relevons également la présence du mollusque dans le lit de la rivière Ihazofotsy (station KV11), cours d'eau de taille largement supérieure à celle de la Bekinana.

Outre le cours d'eau principal, les trois puisards constituent des sites de choix pour les mollusques, qui ont été collectés en nombre dans deux d'entre eux (KI6 et KV9). Seul le puisard KI6 est connecté avec le lit de la rivière (les villageois ont creusé un petit canal) mais les deux autres puisards, proches du lit, peuvent être connectés lors de fortes pluies. Mais durant notre étude cela n'a jamais été constaté (des conditions cycloniques pourraient engendrer un tel phénomène d'hydrochorie). Les canaux, qui sont beaucoup moins présents dans ce milieu moins anthropisé que ne l'est le bassin Ivatriana, abritent le mollusque, dont l'effectif est du même ordre que celui des sites de cours principal pérenne.

L'analyse spatiale de *B. pfeifferi* effectuée à différentes échelles d'analyse nous a permis de mettre en évidence les biotopes les plus susceptibles de permettre son développement, à travers les taux d'occupation et les effectifs horaires cumulés moyens, ainsi que la variation spatiale des effectifs sur l'année, à l'échelle de la station.

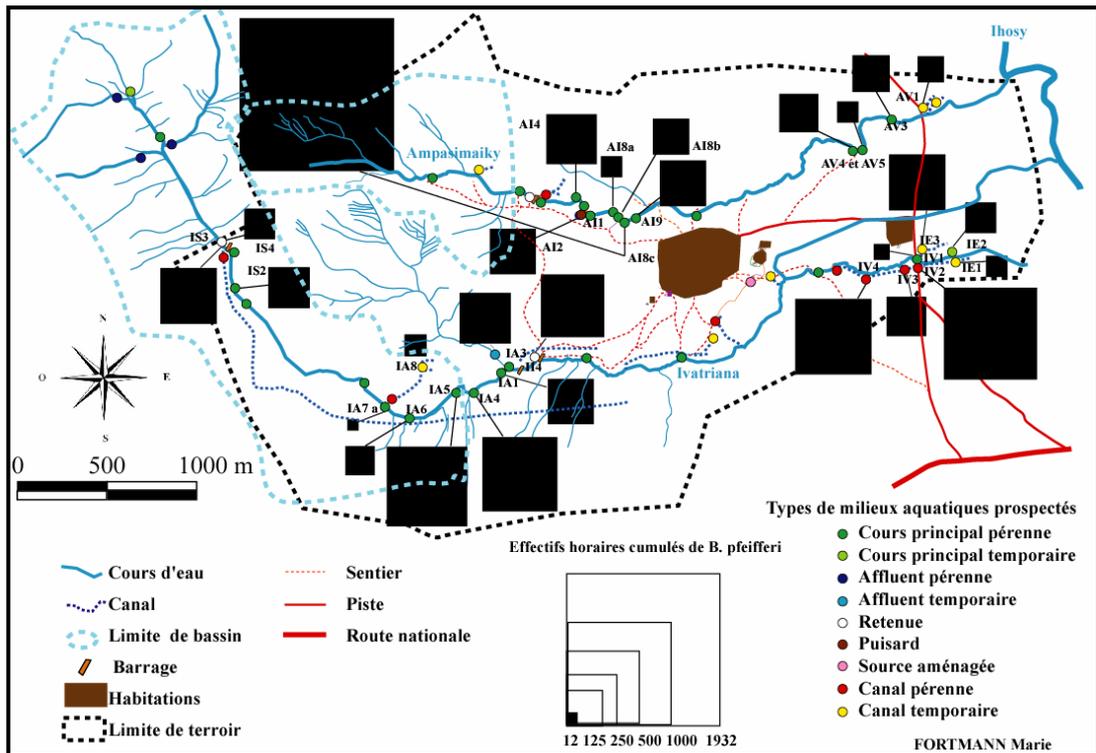
III- Variation saisonnière des effectifs de *B. pfeifferi*

Nous avons cartographié les effectifs horaires cumulés par station en saison sèche (SS ; du 21/04/01 au 20/10/01) et en saison pluvieuse (périodes Spd+Spc+Spf ; du 01/03/01 au 20/04/01 et du 21/10/01 au 28/02/02) pour les bassins Ivatriana et Ampasimaiky (cartes 7.5 et 7.6) et Bekinana (cartes 7.7 et 7.8).

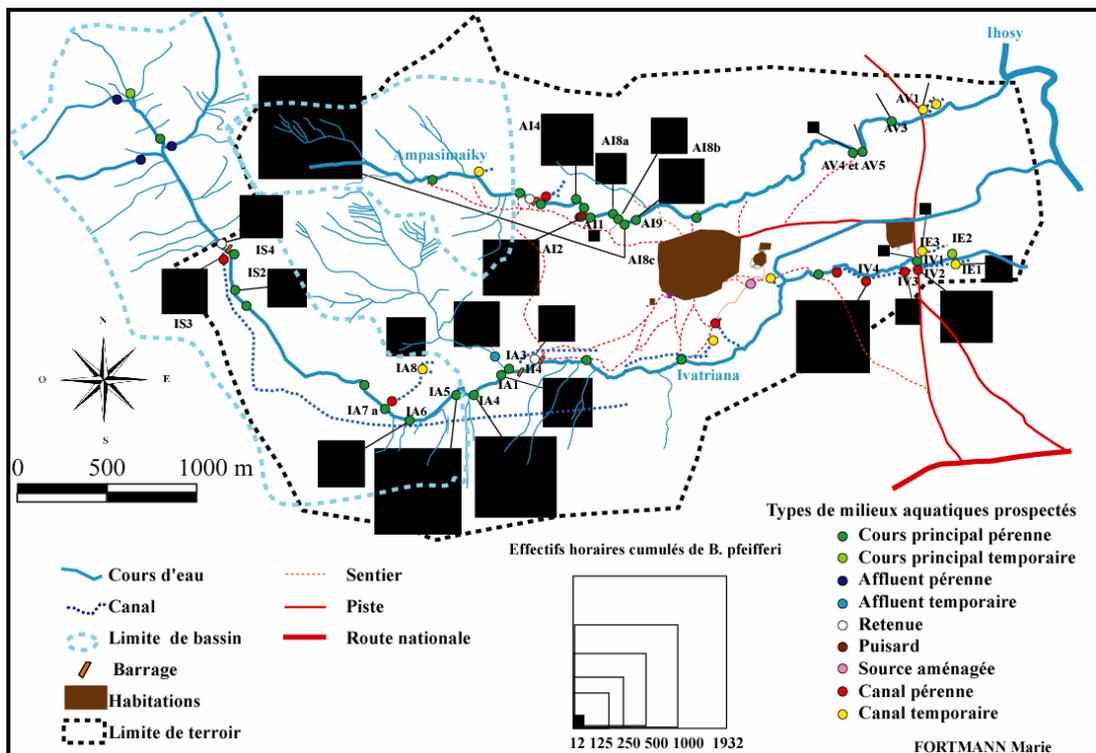
Dans le bassin Ivatriana, les effectifs diminuent pour plusieurs stations de rivière (IS2, II4) entre la saison sèche et la saison humide dans la rivière alors qu'ils ont tendance à augmenter dans les canaux (IA8, IV2, IV3). Les effectifs restent cependant stables et importants pour les stations IA5 et IA4.

Dans le bassin Ampasimaiky, les effectifs deviennent nuls dans trois stations (AV05, AV03 et AV01) en saison humide et les effectifs chutent de moitié entre la saison sèche et la saison humide à la station AI08c, en restant toutefois élevé (> 1000).

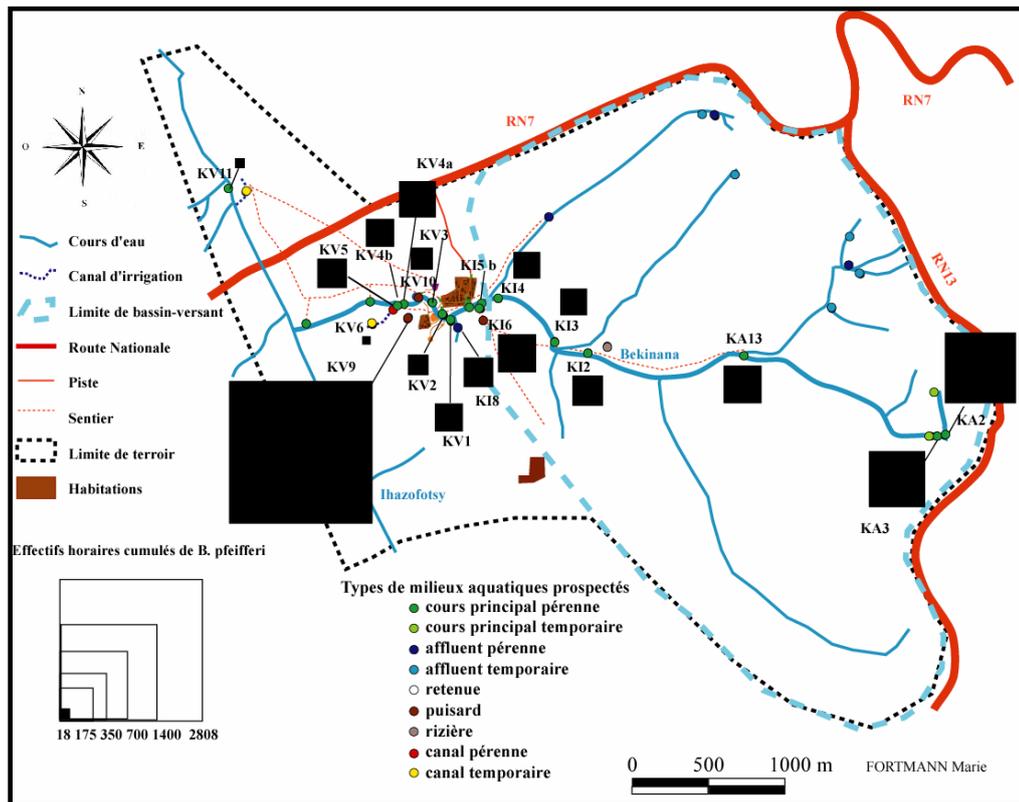
Dans le bassin Bekinana à Kelivondraka, la variation saisonnière se fait sentir dans plusieurs stations, mais avec des variations différentes ; pour les stations KV6, KA13 et KV10 l'effectif diminue de la saison sèche à la saison humide, tandis que pour les stations KI4 et KV5 l'effectif augmente de la saison sèche à la saison humide. Pour les stations KI5b et KV3 on note même le passage d'un effectif nul en saison sèche à un effectif respectivement de 84 et 18. Mais les stations à effectifs cumulés importants identifiées dans l'analyse spatiale (§ II.3) ne présentent pas de forte variation dans les effectifs saisonniers (KV9, KA2, KA3).



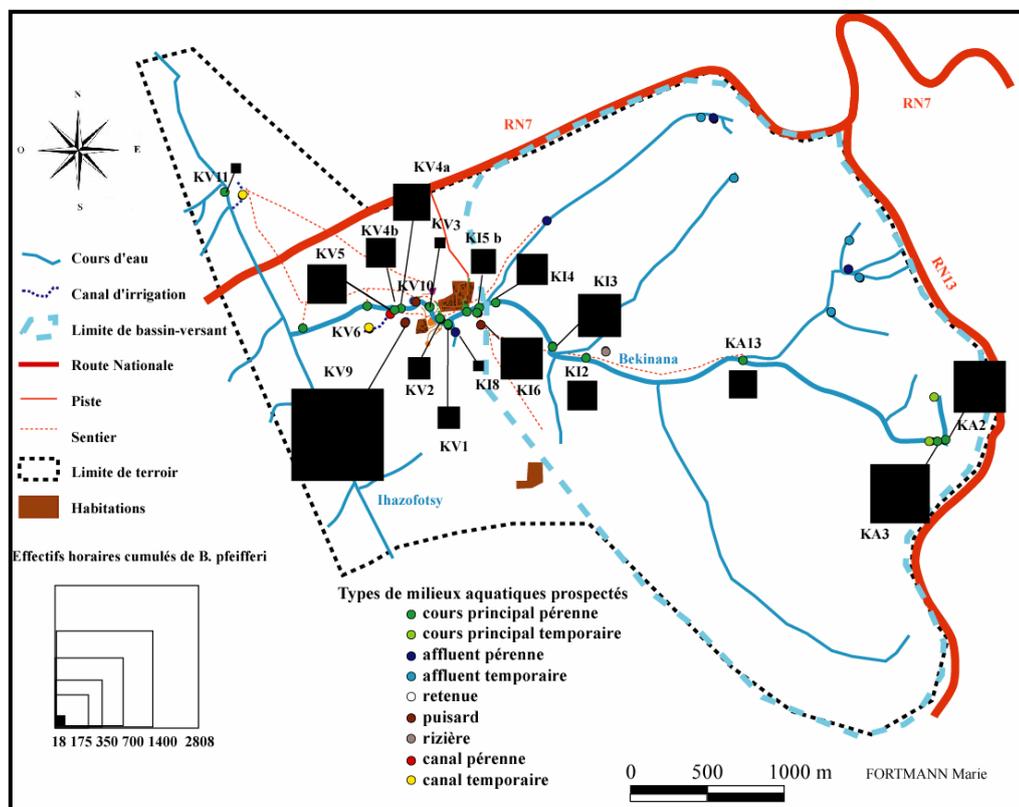
Carte 7.5 : Effectifs horaires cumulés de *B. pfeifferi* en saison sèche 2001 à Ampandratokana



Carte 7.6 : Effectifs horaires cumulés de *B. pfeifferi* en saison humide 2001-2002 à Ampandratokana



Carte 7.7 : Effectifs horaires cumulés de *B. pfeifferi* par station en saison sèche 2001 à Kelivondraka



Carte 7.8 : Effectifs horaires cumulés de *B. pfeifferi* par station en saison humide 2001-2002 à Kelivondraka

IV- Influence des facteurs hydro-climatiques sur la variation temporelle des effectifs de *B. pfeifferi*

La mise en relation de l'évolution temporelle des variables hydro-climatiques étudiées précédemment (chapitres 5 et 6) avec les variations des effectifs de *B. pfeifferi* par biotype est faite pour les bassins d'Ivatriana et de Bekinana.

Seules les variations temporelles des effectifs du mollusque sont présentées pour le bassin Ampasimaiky en relation avec les températures (absence de données hydrologiques). Toutefois la proximité par rapport au bassin Ivatriana nous fait émettre l'hypothèse d'une relation relativement similaire entre les facteurs hydro-climatiques et la variation temporelle des effectifs du mollusque.

IV.1- Une influence complémentaire des facteurs hydro-climatiques dans le bassin d'Ivatriana

La figure 7.1 permet d'apprécier simultanément l'évolution de la variation temporelle des effectifs de *B. pfeifferi* par biotype et celle des principaux facteurs hydro-climatiques (températures maximales de l'eau¹, précipitations, vitesses maximales (Vmax) estimées au moment des pics de crue à la station hydrométrique).

Nous rappelons que les 3 premières campagnes de prospection (31/03/01 ; 16/04/01 et 18/05/01) n'ont pas fait l'objet de relevés de température en raison de problèmes logistiques.

¹ Les températures minimales n'ont pas été reportées sur le graphique car toujours supérieures au seuil de 18°C, sauf lors de 2 missions en juillet.

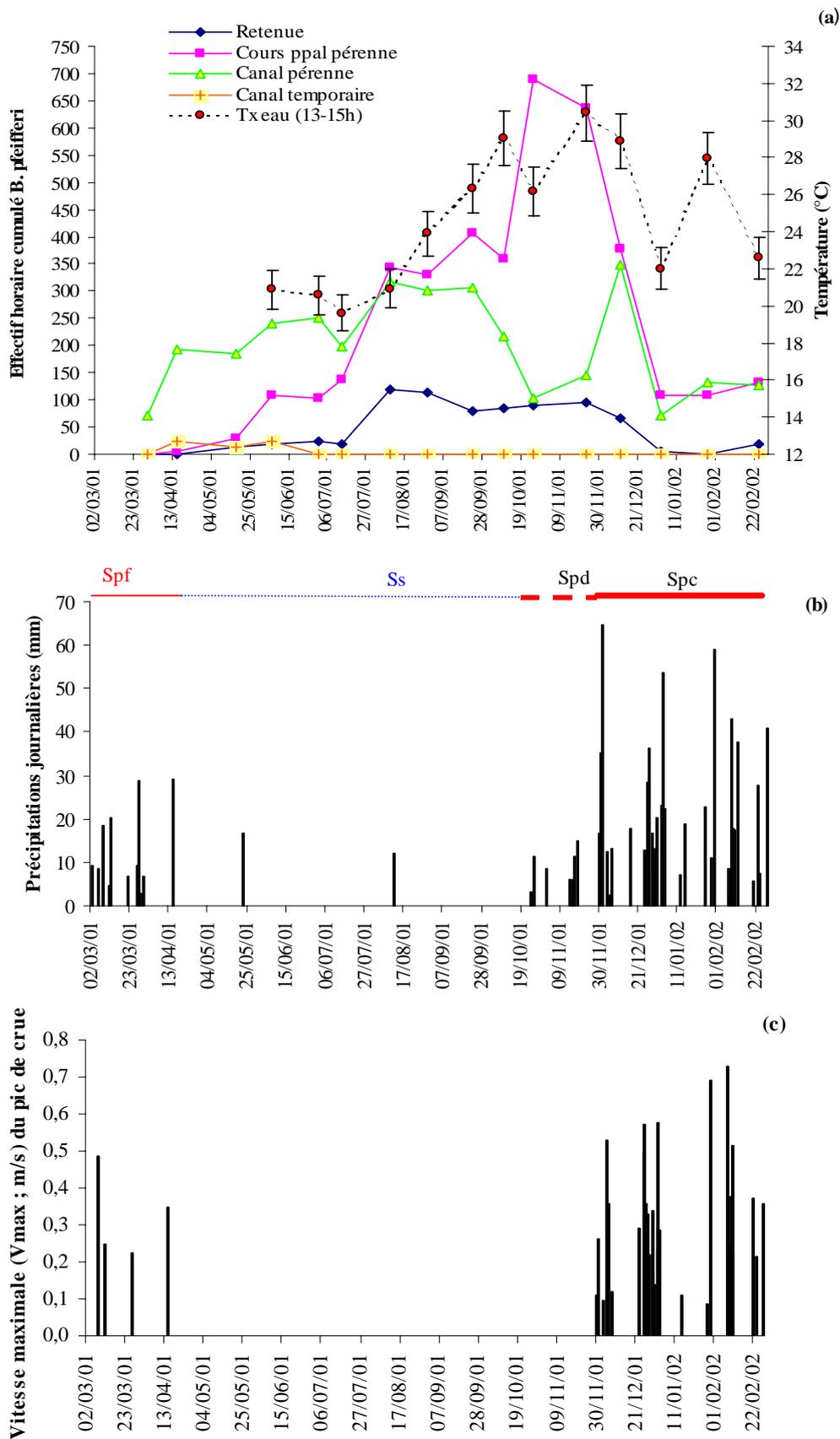


Figure 7.1 : Variation temporelle des effectifs horaires cumulés de *B. pfeifferi* par biotype et caractéristiques hydro-climatiques dans le bassin d'Ivatiana

Les effectifs de *B. pfeifferi* présentent peu de variation à l'échelle de la période d'étude pour deux biotypes (figure 7.1a) : celui de canal temporaire (effectifs très faibles) et celui de retenue où les effectifs présentent une légère augmentation entre le 04/08/01 et le 23/11/01 (passant de 28 à 100).

Pour le biotype « cours principal pérenne », les effectifs sont très faibles au début de la campagne de collecte, qui coïncide avec la fin de la saison des pluies 2000-2001 (figure 7.1b), marquée par quatre (4) crues relativement fortes en mars-avril (figure 7.1c). Les effectifs augmentent nettement à partir de juin, pour atteindre un maximum en octobre-novembre. Cette période se situe à la fin de la saison sèche et est marquée par une augmentation des températures de l'eau, de rares averses ne générant pas de crues, conditions convenant bien à l'hôte intermédiaire.

Puis, une petite chute des effectifs se produit (mi-novembre), au moment où les températures maximales de l'eau enregistrent une hausse significative, atteignant des valeurs supérieures au seuil de 30°C, mal tolérées par les mollusques. A partir de fin novembre, la chute des effectifs plus importante est imputée aux pluies abondantes générant de nombreuses crues (première le 30/11/01), parfois fortes. Les températures chutant avec les précipitations, ce sont seules les pluies et les crues qu'elles provoquent qui agissent sur la dynamique temporelle. Toutefois, ces crues ne sont pas assez puissantes pour éliminer tous les mollusques et même lors d'épisodes majeurs (tels que les crues du 30/01/02 et du 08/02/02 où les V_{max} estimées sont autour de 0,7 m/s) les populations de mollusques se maintiennent dans le cours principal. Il est cependant important de signaler que les vitesses ne sont pas uniformes en tout point de la rivière et qu'elles n'atteignent pas forcément la valeur estimée aux endroits où l'on trouve les mollusques (généralement dans des micro-habitats abrités).

Dans les canaux pérennes, les effectifs sont à peu près constants de fin mars à fin septembre 2001 (environ 250). Puis ils diminuent de fin septembre à fin octobre (période de nettoyage des canaux), avant de connaître une croissance jusqu'à la mi-décembre, qui coïncide avec la chute des effectifs dans le cours principal. Cette variation nous fait émettre l'hypothèse qu'au moment des premières crues, qui coïncident avec la mise en service de certains canaux, les mollusques ont tendance à subir un transfert passif de la rivière vers les canaux via l'irrigation. Mais entre la mi-décembre 2001 et le début du mois de janvier 2002 les mollusques sont moins nombreux, ce qui suggère des conditions écologiques défavorables dans les canaux comme dans le cours principal. La reprise de la croissance des populations est amorcée dès début janvier 2002.

Dans le bassin d'Ivatriana, la variation temporelle des effectifs de mollusques dans la rivière est donc sous l'influence à la fois des températures maximales, au début

de la saison des pluies, et des crues générées par les épisodes pluvieux, dont l'impact se fait sentir au cœur de la saison des pluies. La chute des effectifs dans la rivière au cœur de la saison humide correspond à une hausse dans les canaux liée à un transfert d'un biotype à l'autre.

IV.2- Dynamique temporelle de *B. pfeifferi* dans le bassin Ampasimaiky

La figure 7.2 nous permet d'apprécier simultanément l'évolution temporelle des effectifs horaires cumulés du mollusque selon les biotypes et les températures maximales à Ampandratokana. Les températures minimales ne sont pas représentées car supérieures presque constamment au-dessus de 18°C.

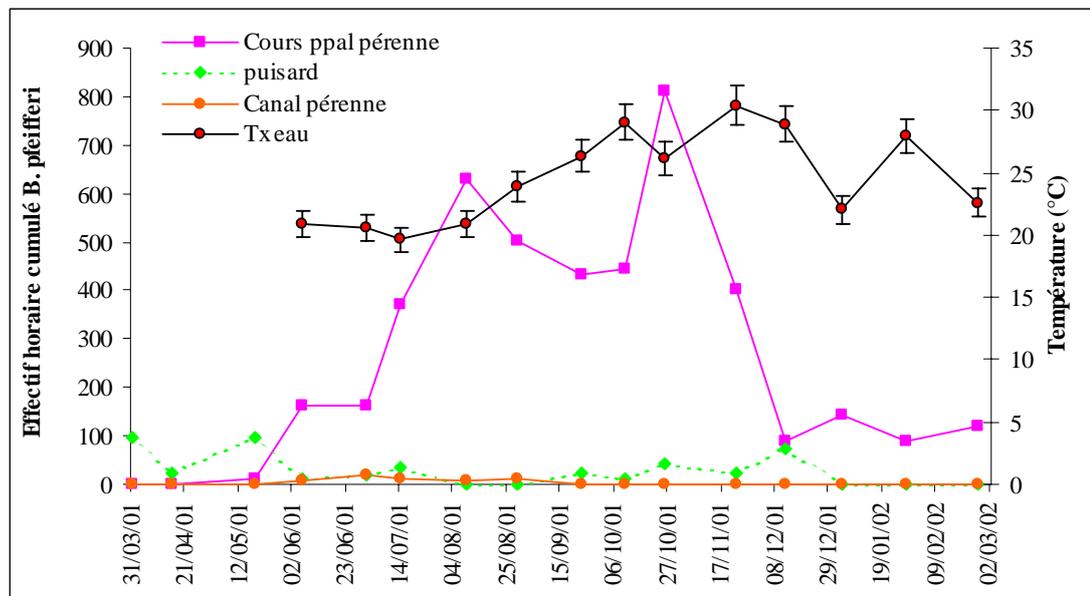


Figure 7.2 : Variation temporelle des effectifs horaires cumulés de *B. pfeifferi* par biotype et des températures maximales (Tx) de l'eau dans le bassin d'Ampasimaiky

Les mollusques sont présents de manière périodique et en faible effectif dans deux biotypes ; le biotype de canal pérenne (mollusques présents de juin à fin août 2001 avec un effectif moyen de 10 par date de collecte) et le puisard (2 périodes de présence du mollusque ; de fin mars à mi-juin et de fin septembre à mi-décembre).

Dans le biotope de cours principal pérenne, les effectifs présentent une évolution temporelle similaire à celle d'Ivatiana; croissance à partir de mi-mai avec un maximum fin novembre lorsque les températures augmentent, précédant une chute brutale

jusqu'au mois de décembre. Les mêmes variations que celles du bassin Ivatriana proche laissent supposer l'influence des températures, puis des pluies et des crues qu'elles génèrent dans la chute des effectifs.

IV.3- Une nette influence des facteurs hydrologiques dans le bassin de Bekinana

La figure 7.3 permet d'apprécier la variation temporelle des effectifs de mollusques par biotype et des facteurs hydro-climatiques dans le bassin de la Bekinana à Kelivondraka. Les températures minimales (cf. chapitre 5) ont été prises en compte dans l'étude mais n'ont pas été reportées sur le graphique.

Pour tous les biotypes le pic maximum des effectifs récoltés est synchrone et est décalé d'un mois (fin novembre) par rapport à ceux des rivières Ampasimaiky et Ivatriana (fin octobre). Dans les biotypes d'affluent pérenne, les effectifs sont très faibles voir nuls à 7 reprises. Dans le biotype de canal temporaire, le mollusque n'a été collecté qu'une fois avec un effectif très faible. Dans les canaux pérennes, *B. pfeifferi* est présent durant la période du 31/08/01 au 25/11/01, avec des effectifs s'accroissant progressivement de 24 à 162. La variation temporelle des effectifs dans les puisards indique une croissance plus ou moins régulière de mars au 18/07/01 avec un effectif horaire cumulé maximum de 624 à cette date. Une chute se produit entre le 08/08/01 et le 22/10/01, suivie d'un petit pic le 25/11/01 avec un effectif de 420. De fin novembre à début janvier 2002 les effectifs diminuent avec un effectif de 90 le 05/01/02, puis augmentent légèrement par la suite.

La dynamique temporelle des effectifs de *B. pfeifferi* dans le cours principal pérenne montre de faibles variations d'effectifs de mars à septembre, malgré les températures moyennes de l'eau relativement fraîches, inférieures au seuil de 18°C de juin à août 2001 (cf. chapitre 5). A la fin de la saison sèche, les mollusques sont ramassés en plus grand nombre et l'effectif double pour atteindre un maximum de 420 fin novembre. Cette période correspond à une hausse des températures minimales et maximales (sans dépasser fréquemment les 28°C) de l'eau, qui coïncident avec les premiers épisodes pluvieux importants (figure 7.3b). A partir de la fin du mois de novembre l'effectif chute de manière très importante avec l'intensification des pluies et des crues (crue importante le 30/11/01 avec V_{max} de 1,75 m/s et crue majeure le 25/12/01 avec V_{max} de 2,68 m/s ; chapitre 6) et la chute se prolonge jusqu'à la fin du mois de janvier. Les mollusques sont un peu plus nombreux à la fin du mois de février, période qui marque la reprise de la croissance des populations et la diminution du nombre de crues.

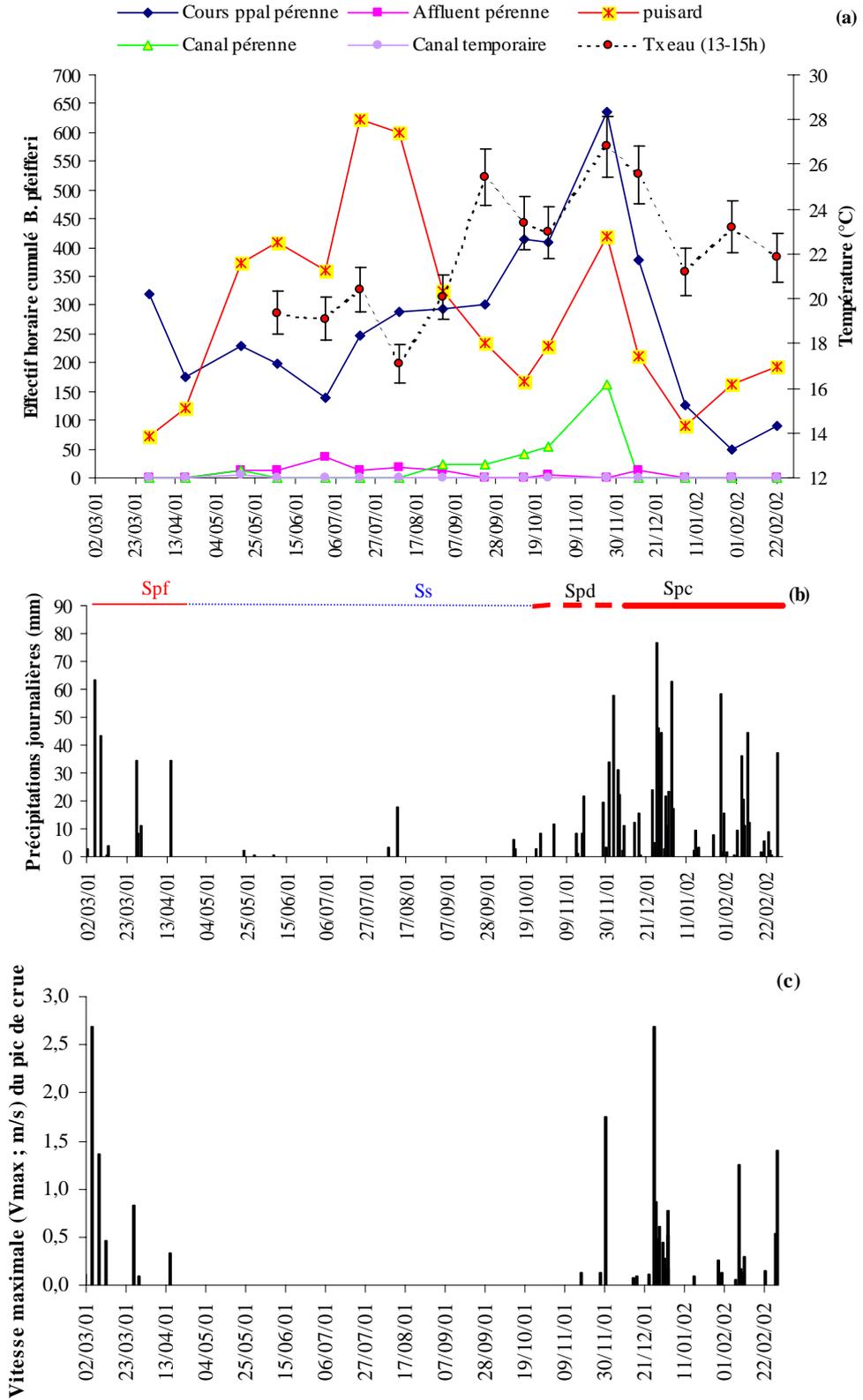


Figure 7.3 : Variation temporelle des effectifs horaires cumulés de *B. pfeifferi* par biotype et caractéristiques hydro-climatiques dans le bassin de la Bekinana.

Dans les deux villages d'étude, la présence de *B. pfeifferi* est marquée puisque 53% des 91 sites prospectés hébergent le mollusque. Il a été collecté dans des biotypes variés, mais principalement pérennes, concordant bien avec les exigences écologiques connues du mollusque. L'analyse a montré, notamment à Ampandratokana, que dans le biotype de rivière pérenne sa répartition n'était pas uniforme à l'échelle des stations mais liée à des gîtes écologiques plus favorables que d'autres (berges protégées, végétation abondante). Les stations IA5 et IA4 du bassin Ivatriana et la station AI8c du bassin Ampasimaiky peuvent en ce sens jouer le rôle de zones-refuges, liées à leur position d'abri et à l'absence d'extinction des populations de mollusques.

Dans le bassin de la Bekinana à Kelivondraka, les stations KA2 et KA3 situées dans la partie amont du bassin hydrographique sont plutôt épargnées par les crues et les effectifs des mollusques y sont importants, sans connaître d'extinction. Elles constituent le réservoir des populations de *B. pfeifferi*.

Lorsqu'il est connecté au réseau hydrographique le puisard s'avère être un « refuge » à mollusques, comme la station KI6 à Kelivondraka.

Dans les canaux, connus pour être des milieux favorables, les mollusques sont présents en abondance et leurs effectifs augmentent en saison des pluies dans le bassin d'Ivatriana, sans doute parce que les conditions écologiques dans le lit de la rivière deviennent défavorables et qu'ils subissent un transfert via l'irrigation.

Nos résultats sont en accord avec les recherches dans la région du lac Itasy (moyen-ouest de Madagascar) de Locheron *et al.* (1979), qui ont constaté pour *B. pfeifferi* «qu'il existe pour chaque type de station des périodes de l'année où les conditions sont plus ou moins bonnes pour le développement du mollusque : canal ou rivière».

La relation entre les facteurs hydro-climatiques et la variation temporelle des effectifs de mollusques a permis de montrer une influence variable des différents facteurs dans les deux villages ; choc thermique puis crues à Ampandratokana, influence seule des crues générées par les pluies à Kelivondraka. Cette étude a donc mis en évidence l'importance d'aborder ces questions à une échelle locale.

L'étude de la variation spatio-temporelle des effectifs de *B. pfeifferi* dans les deux villages a permis de montrer la présence permanente du mollusque dans les milieux hydriques avec des fluctuations temporelles dans le cours principal des rivières contrastant avec une stabilité des effectifs dans des collections d'eau protégées (puisards, retenue, source) qui jouent le rôle de zones-refuges ou réservoirs. Ces

résultats peuvent suggérer alors que la transmission de la maladie peut être étendue à de nombreux milieux hydriques et être continue dans le temps, ce qui va à priori à l'encontre de l'idée de focalisation développée par Woolhouse & Chandiwana (1989), mais qui a été mise en évidence à une échelle régionale et non locale. En fait, la maladie est perçue différemment selon le niveau d'échelle spatiale.

Si la connaissance de la variation spatio-temporelle des effectifs des mollusques hôtes intermédiaires constitue une étape indispensable, elle n'est cependant pas suffisante pour comprendre le fonctionnement de l'écologie de la transmission qui dépend en grande partie aussi des contacts de l'homme, hôte définitif à la fois contaminé et contaminant, avec le milieu à risque de transmission, à travers ses activités d'ordre économique, social et culturel. Cet aspect fera l'objet de notre dernière partie.

PARTIE IV

RELATIONS DE L'HOMME AVEC LES MILIEUX

HYDRIQUES ET STATUT PARASITOLOGIQUE

DES POPULATIONS

Cette dernière partie a pour objectifs d'étudier les activités qui conduisent l'homme à fréquenter des milieux hydriques, de déterminer les biotypes liés à ces activités et de voir s'il existe une relation entre les contacts avec l'eau et le statut parasitologique des individus, dans l'optique de contribuer au contrôle.

Dans un premier temps (chapitre 8), les activités liées à l'eau seront analysées dans les villages d'Ampandratokana et de Kelivondraka sans tenir compte des lieux de pratique, mais en fonction de facteurs socio-démographiques (âge, sexe, ethnie, scolarisation) et selon les saisons. Dans un second temps, nous examinerons la relation entre les activités et les biotypes hydriques (chapitre 9), avant d'aborder (chapitre 10) la situation parasitologique dans les deux villages et le rapport entre les contacts homme-eau et les niveaux d'infestation des populations pour le seul village d'Ampandratokana.

-CHAPITRE 8-

DIVERSITE DES ACTIVITES LIEES A L'EAU

La transmission de la schistosomose intestinale nécessite un contact direct entre l'homme et le milieu hydrique où se trouvent les larves infestantes de *S. mansoni*. Il est donc nécessaire, pour apprécier l'influence des comportements humains sur la transmission, de prendre en considération toutes les activités liées à l'eau susceptibles de déterminer un contact entre un individu et l'agent pathogène dans les divers sites de transmission potentiels.

Nous analyserons ici les activités quels que soient les lieux où elles sont pratiquées, la relation avec les milieux hydriques étant développée au chapitre 9.

Après quelques précisions et rappels sur la nature des liens et des contacts avec l'eau, qu'ils soient jeunes (6 à 14 ans) et la présentation de la typologie retenue pour l'exploitation des données, nous analyserons l'influence des critères socio-démographiques (cf. chapitre 4) sur les activités liées à l'eau dans chaque village. Nous distinguerons les accompagnants (enfants âgés de 1 à 5 ans) des individus pratiquant les activités de façon autonome ou adultes (15 ans et plus).

L'influence de la saisonnalité sur les activités sera abordée dans un troisième point, avant la prise en compte dans la pratique de la lessive et de la baignade des modalités des contacts à l'eau (fréquence et niveau d'immersion).

I- Activités et liens avec l'eau

I.1- Typologie des activités dérivée du questionnaire

Au cours de nos enquêtes dans les villages d'Ampandratokana et de Kelivondraka, les populations ont été interrogées sur 13 de leurs activités présentées suivant la typologie adoptée au cours de nos pré-enquêtes (chapitre 3) que nous rappelons au tableau 8.1.

Activité	Type	Lien avec l'eau	Contact à l'eau	
Baignade	Récréatif	Direct	Obligatoire	
Lessive	Domestique			
Riziculture	Agricole			
Toilette	Domestique		Indirect	Facultatif
Collecte d'eau	Domestique			
Pêche	Extractiviste			
Maraîchage	Agricole			
Culture sur <i>baiboho</i>	Agricole			
Gardiennage du bétail	Pastoral			
Collecte de bois	Extractiviste			
Travail saisonnier	Déplacement			
Visite	Déplacement			
Marché	Déplacement			

Tableau 8.1 : Typologie des activités présentées dans le questionnaire selon leur type, leur lien avec l'eau et le caractère obligatoire ou facultatif du contact à l'eau

La collecte d'eau englobe la corvée d'eau et la vaisselle (cf. chapitre 3).

Le contact avec l'eau étant nécessaire à la transmission de la schistosomose, nous avons d'abord demandé à l'individu s'il pratiquait chaque activité, puis, pour celles sans contact obligatoire avec des milieux hydriques, si celui-ci était réalisé et selon quelles modalités. Dans le cadre de notre problématique, seules les personnes associant un contact hydrique avec une activité donnée ont été considérées comme la pratiquant.

I.2- Typologie pour l'exploitation des données

Lors du traitement des données, nous avons constaté que les caractéristiques de certaines activités nous autorisaient à effectuer des regroupements, permettant d'avoir des effectifs suffisamment importants pour une exploitation statistique des données.

Ainsi, pour l'analyse des taux de pratique, les activités « travail saisonnier », « visite » et « marché » ont amené à créer deux nouvelles catégories : la « mobilité de proximité », qui englobe l'activité « marché » et les réponses « visite » quand elles concernent des lieux à proximité du village ; la « mobilité éloignée » qui réunit l'activité « travail saisonnier » et les réponses « visite » quand elles concernent des lieux éloignés du village d'habitation.

Les activités « maraîchage » et « culture sur *baiboho* », considérées sous l'angle de leur lien avec les milieux hydriques, ont été regroupées sous l'appellation « arrosage », activité majeure associée à l'eau pour ce type d'agriculture.

Les activités « gardiennage du bétail » et « collecte de bois » ont été regroupées sous le terme de « baignade associée », car dans les deux cas c'est cette activité liée qui implique le contact à l'eau. Cette « baignade associée » ne concerne pas les mêmes milieux que la « baignade » à proprement parler et ces deux activités ont donc été considérées comme différentes.

II- Cas des enfants de moins de 6 ans

Les enfants de moins de 6 ans ne sont pas autonomes dans la pratique des activités liées à l'eau, selon des observations menées dans les deux villages d'étude. Ceux âgés de 1 à 5 ans peuvent accompagner un ou plusieurs membres de la famille dans leurs activités quotidiennes et sont donc susceptibles d'avoir un contact à l'eau. Les nouveaux-nés n'ont pas été pris en compte dans l'étude.

Ces enfants ont un statut qualifié dès lors « d'accompagnant ». En plus de la toilette qui se pratique à la maison avec de l'eau collectée, les enfants ont une relation avec le milieu hydrique se traduisant souvent par une baignade. Les accompagnants peuvent être infestés par le parasite lors de ces contacts hydriques, tout comme ils peuvent, s'ils sont déjà atteints par la bilharziose intestinale, contaminer le milieu hydrique. Les personnes accompagnées ne sont pas toujours responsables des contacts à l'eau des enfants, mais déterminent cette possibilité.

Nous présentons dans le tableau 8.2 les effectifs et les taux de pratique¹ de l'accompagnement, selon l'activité liée à l'eau de ceux qui sont suivis par les enfants. L'étude se base sur la typologie des activités regroupées, indépendamment des saisons. L'effectif des enfants âgés de 1 à 5 ans atteint respectivement 104 et 42 individus à Ampandratokana et à Kelivondraka.

Activité	Ampandratokana		Kelivondraka	
	Effectifs	Taux de pratique	Effectifs	Taux de pratique
Arrosage	0	0%	0	0%
Pêche	0	0%	0	0%
Baignade associée	0	0%	0	0%
Collecte d'eau	1	1%	0	0%
Riziculture	1	1%	0	0%
Mobilité de proximité	11	11%	15	36%
Mobilité éloignée	14	13%	6	14%
Lessive	18	17%	21	50%
Baignade	90	87%	38	90%
Toilette	104	100%	42	100%

Tableau 8.2 : Effectifs et taux de pratique de « l'accompagnement » des enfants (1-5 ans) selon les activités des individus accompagnés, par village.

Les résultats du tableau 8.2 montrent que l'accompagnement dans les deux villages est majoritairement lié à la baignade et dans une moindre mesure à celles de la lessive, de la mobilité éloignée et de la mobilité de proximité. La toilette est pratiquée par 100% des enfants. La riziculture et la collecte d'eau sont des activités pour lesquelles les enfants accompagnent marginalement à Ampandratokana, tandis que la pêche, la baignade associée ou l'arrosage n'occasionnent pas d'accompagnement dans les deux villages.

La comparaison intervillageoise montre que les accompagnements par les enfants en bas âge sont plus courants à Kelivondraka. Le Khi-2 indique que ceux associés à la mobilité de proximité et à la lessive y sont plus importants ($P < 0,01$).

Les enfants accompagnent majoritairement leur mère, puis leurs frères et sœurs.

¹ rapport du nombre d'enfants pratiquant l'accompagnement par rapport au nombre d'enfants âgés de 1 à 5 ans.

III- Activités liées à l'eau d'un village à l'autre

La pratique des activités liée à l'eau est considérée ici pour les individus de 6 ans et plus, sans distinction de sexe ou d'appartenance ethnique. Nous rappelons que les individus autonomes (jeunes et adultes) enquêtés sont au nombre de 467 à Ampandratokana et de 176 à Kelivondraka. Le tableau 8.3 présente pour chaque village les effectifs et les taux de pratique des activités considérées selon la typologie du questionnaire (excepté pour les deux types de mobilité).

Activité	Ampandratokana		Kelivondraka	
	Effectifs	Taux de pratique	Effectifs	Taux de pratique
Gardiennage	29	6,2%	1	0,6%
Cultures sur baiboho	38	8,1%	2	1,1%
Pêche	29	6,2%	47	26,7%
Maraichage	80	17,1%	23	13,1%
Collecte de bois	124	26,6%	26	14,8%
Mobilité éloignée	124	26,6%	68	38,6%
Mobilité de proximité	198	42,4%	77	43,8%
Lessive	169	36,2%	71	40,3%
Collecte d'eau	182	39,0%	76	43,2%
Riziculture	298	63,8%	127	72,2%
Baignade	445	95,3%	172	97,7%
Toilette	467	100,0%	176	100,0%

Tableau 8.3 : Effectifs et taux de pratique des activités liées à l'eau des individus de 6 ans et plus dans les deux villages

La figure 8.1 donne les taux de pratique des activités issues de selon la typologie modifiée en I.2.

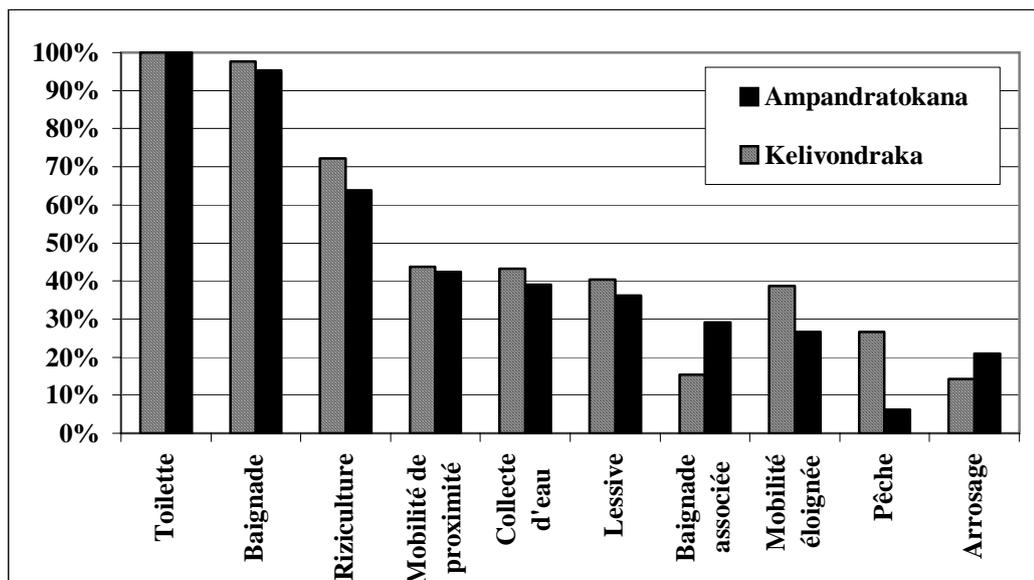


Figure 8.1 : Taux de pratique des activités liées à l'eau (activités regroupées) des individus de 6 ans et plus dans les deux villages

Le test du Khi-2 appliqué à la comparaison intervillageoise montre que la riziculture ($P < 0,05$), ainsi que la pêche et la mobilité éloignée ($P < 0,01$) sont moins pratiquées à Ampandratokana, tandis que la baignade l'est plus ($P < 0,01$). Aucune différence intervillageoise n'apparaît pour les autres activités.

Un autre constat que nous faisons par rapport à ces résultats est la mobilisation d'une fraction beaucoup plus importante des populations pour les activités domestiques et récréatives (baignade, toilette, lessive, collecte d'eau) que pour les activités agro-pastorales et extractivistes (pêche, baignade associée, arrosage), exceptée la riziculture qui implique plus de 60% de la population.

Ceci nous amène à distinguer les activités selon deux groupes :

- les activités communes (communes au sens de pratiquées par un grand nombre d'individus), pratiquées par plus de 90% de la population ; il s'agit de la toilette et de la baignade, ce qui nous surprend peu étant donné leur caractère hygiénique ;
- les autres activités, pratiquées par une partie plus ou moins importante des individus, et que nous appellerons activités variables ; elles seules feront l'objet d'une analyse statistique pour chacun des villages.

IV- Activités liées à l'eau et socio-démographie

Dans les conditions de sous-équipement des campagnes malgaches (pas d'eau courante, ni de gaz ou d'électricité), les travaux domestiques et agricoles constituent l'essentiel des activités.

Se poser la question de qui fait quoi dans le ménage ou à l'échelle de la population villageoise permet de comprendre l'organisation de la société et d'analyser les différences socio-démographiques dans la pratique des activités liées à l'eau.

IV.1- Influence du sexe et de l'âge

Le tableau 8.4 présente les taux de pratique des activités en fonction du sexe chez les individus de 6 ans et plus dans les deux villages. Nous rappelons que les effectifs des individus de sexe féminin et masculin sont respectivement de 219 et 248 à Ampandratokana et de 84 et 92 à Kelivondraka.

	Ampandratokana				Kelivondraka			
	M	F	Diff F-M	test Khi-2	M	F	Diff F-M	test Khi-2
Arrosage	8,1%	35,6%	27,6%	**	5,4%	23,8%	18,4%	**
Baignade associée	40,7%	16,0%	-24,7%	**	22,6%	8,7%	-13,9%	*
Lessive	6,9%	69,4%	62,6%	**	3,3%	81,0%	77,7%	**
Collecte d'eau	8,9%	73,1%	64,2%	**	8,7%	81,0%	72,3%	**
Riziculture	62,9%	64,8%	1,9%	NS	69,6%	75,0%	5,4%	NS
Pêche	7,7%	4,6%	-3,1%	NS	30,4%	22,6%	-7,8%	NS
Mobilité de proximité	35,5%	50,2%	14,7%	**	50,0%	36,9%	-13,1%	NS
Mobilité éloignée	31,9%	20,5%	-11,3%	**	65,2%	32,1%	-33,1%	**

**Tableau 8.4 : Taux de pratique par village selon le sexe (M : Masculin ; F : Féminin) ;
Diff F-M : différence masculin-féminin (résultats du test du Khi-2 ;** : P<0,01 ; * : P<0,05 ; NS :
non significatif)**

A Ampandratokana, l'arrosage, la lessive, la collecte d'eau, la mobilité de proximité sont plus pratiqués ($P<0,01$) par les femmes que par les hommes. En revanche la mobilité éloignée et la baignade associée sont davantage pratiquées ($P<0,01$) par les hommes que par les femmes.

Les divergences à Kelivondraka sont comparables à celles observées à Ampandratokana d'une part pour l'arrosage, la lessive et la collecte d'eau, plus

pratiqués par les femmes ($P<0,01$), d'autre part pour la mobilité éloignée ($P<0,01$) et la baignade associée ($P<0,05$), plus pratiquées par les hommes. Les résultats selon le village diffèrent pour la mobilité de proximité, sans lien avec le sexe à Kelivondraka.

L'absence d'influence du sexe pour la riziculture et la pêche à Kelivondraka est aussi constatée à Ampandratokana.

Ces résultats traduisent bien une répartition des activités selon le sexe et mettent en évidence le rôle majeur des femmes dans la pratique des activités domestiques (collecte d'eau et lessive) et le rôle majeur des hommes dans les activités pastorales et extractivistes (collecte du bois) pour lesquelles une baignade est associée, ainsi que la mobilité éloignée. La pratique de la riziculture comparable pour les deux sexes montre la très forte implication des femmes dans les activités agricoles, observée dans d'autres régions rurales de Madagascar (Droy *et al.*, 2001).

Le tableau 8.5 compare les taux de pratique des activités chez les individus jeunes et adultes dans les deux villages. Nous rappelons que les effectifs des individus jeunes et adultes sont respectivement de 136 et 331 à Ampandratokana et de 41 et 135 à Kelivondraka.

	Ampandratokana				Kelivondraka			
	jeunes	adultes	Diff A-J	test Khi-2	jeunes	adultes	Diff A-J	test Khi-2
Arrosage	9,6%	25,7%	16,1%	**	2,4%	17,8%	15,3%	*
Baignade associée	11,8%	36,3%	24,5%	**	14,6%	15,6%	0,9%	NS
Lessive	18,4%	43,5%	25,1%	**	22,0%	45,9%	24,0%	**
Collecte d'eau	20,6%	46,5%	25,9%	**	31,7%	46,7%	15,0%	NS
Riziculture	23,5%	80,4%	56,8%	**	22,0%	87,4%	65,4%	**
Pêche	2,2%	7,9%	5,6%	**	7,3%	32,6%	25,3%	**
Mobilité de proximité	16,2%	53,2%	37,0%	**	43,9%	43,7%	-0,2%	NS
Mobilité éloignée	11,8%	32,6%	20,9%	**	34,1%	40,0%	5,9%	NS

Tableau 8.5 : Taux de pratique selon l'âge (jeunes : 6-14 ans ; adultes : 15 ans et plus);
Diff A-J : différence Adultes-Jeunes (résultats du test du Khi-2 ; ** : $P<0,01$; * : $P<0,05$; NS : non significatif)

A Ampandratokana, toutes les activités sont davantage pratiquées par les adultes que par les jeunes ($P<0,01$), ce qui est assez surprenant mais pourrait être lié au déséquilibre démographique et au fait que beaucoup d'adultes migrants n'ont pas de jeune descendance qui pourraient partager les activités de la famille. A Kelivondraka, les divergences selon l'âge ne s'observent que pour l'arrosage ($P<0,05$), la lessive, la

riziculture et la pêche ($P < 0,01$), plus pratiqués par les adultes. Les jeunes partent autant que les adultes lors de déplacements lointains (mobilité éloignée) car c'est la famille dans son ensemble qui se déplace.

La collecte présente un taux de pratique élevé (2^{ème} rang) chez les jeunes dans les deux villages. Leur implication dans la corvée d'eau est courante à Madagascar et selon Droy *et al.* (2001) environ un quart des personnes qui participent à l'approvisionnement en eau sont des individus de 6 à 14 ans.

IV.2- Influence de l'ethnie

L'influence de l'appartenance ethnique (chapitre 4) sur le taux de pratique des activités est étudiée pour chaque village dans le cas des groupes ethniques bien représentés (Hautes Terres, Antandroy et Sud-Est).

Le tableau 8.6 donne les effectifs et taux de pratique des activités en fonction de l'appartenance ethnique à Ampandratokana. Nous rappelons que les effectifs par groupe ethnique y sont respectivement de 402, 34 et 19 pour les *Antandroy* et les groupes des Hautes Terres et du Sud-Est.

Activité	HT	Ant	SE	Diff HT-Ant	Diff HT-SE	Diff Ant-SE
Arrosage	23,5%	19,7%	42,1%	3,9% NS	-18,6% NS	-22,5% INV
Baignade associée	14,7%	30,3%	42,1%	-15,6% NS	-27,4% *	-11,8% NS
Lessive	50,0%	34,6%	47,4%	15,4% NS	2,6% NS	-12,8% NS
Collecte d'eau	35,3%	39,3%	47,4%	-4,0% NS	-12,1% NS	-8,1% NS
Riziculture	52,9%	64,2%	84,2%	-11,2% NS	-31,3% *	-20,0% NS
Pêche	2,9%	6,7%	5,3%	-3,8% INV	-2,3% INV	1,5% INV
Mobilité de proximité	47,1%	41,0%	63,2%	6,0% NS	-16,1% NS	-22,1% NS
Mobilité éloignée	44,1%	26,1%	21,1%	18,0% *	23,1% NS	5,1% NS

Tableau 8.6 : Effectifs et taux de pratique des activités liées à l'eau selon l'ethnie à Ampandratokana (individus de 6 ans et plus)

HT : Hautes Terres ; Ant : Antandroy ; SE : Sud-Est (résultats du test du Khi-2 ; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,05$; NS : non significatif ; INV : invalidé)

L'analyse statistique comparative montre ($P < 0,05$) que la mobilité éloignée est plus pratiquée dans le groupe Hautes Terres que dans l'ethnie *Antandroy*. Les taux de pratique pour la baignade associée sont plus élevés ($P < 0,05$) chez les personnes du groupe Sud-Est que chez celles du groupe Hautes Terres. La riziculture concerne plus ($P < 0,05$) le groupe Sud-Est que le groupe Hautes Terres, ce qui est assez surprenant,

mais ce résultat peut être lié aux différentes phases migratoires présentées au chapitre 4 (arrivée des individus des Hautes Terres majoritairement durant la dernière vague, période durant laquelle peu de terres étaient encore inexploitées).

Le tableau 8.7 donne les effectifs et taux de pratique des activités en fonction de l'appartenance ethnique à Kelivondraka. Nous rappelons que les effectifs par groupe ethnique y sont respectivement de 78, 71 et 27 pour les *Antandroy* et les groupes des Hautes Terres et du Sud-Est.

Activité	<i>HT</i>	<i>Ant</i>	<i>SE</i>	<i>Diff HT-Ant</i>		<i>Diff HT-SE</i>		<i>Diff Ant-SE</i>	
Arrosage	16,9%	6,4%	29,6%	10,5%	*	-12,7%	NS	-23,2%	INV
Baignade associée	52,1%	34,6%	66,7%	17,5%	NS	-14,6%	INV	-32,1%	NS
Lessive	43,7%	33,3%	51,9%	10,3%	NS	-8,2%	NS	-18,5%	INV
Collecte d'eau	45,1%	39,7%	48,1%	5,3%	NS	-3,1%	NS	-8,4%	NS
Riziculture	81,7%	60,3%	81,5%	21,4%	**	0,2%	NS	-21,2%	*
Pêche	28,2%	24,4%	29,6%	3,8%	NS	-1,5%	NS	-5,3%	NS
Mobilité de proximité	35,2%	47,4%	55,6%	-12,2%	NS	-20,4%	NS	-8,2%	NS
Mobilité éloignée	36,6%	37,2%	48,1%	-0,6%	NS	-11,5%	NS	-11,0%	NS

Tableau 8.7 : Effectifs et taux de pratique des activités liées à l'eau selon l'ethnie à Kelivondraka (individus de 6 ans et plus)

HT : Hautes Terres ; *Ant* : *Antandroy* ; *SE* : Sud-Est (résultats du test du Khi-2 ; ** : $P < 0,01$; * : $P < 0,05$; NS : non significatif ; INV : invalidé)

L'arrosage concerne une proportion plus importante ($P < 0,05$) d'individus dans le groupe Hautes Terres que dans l'ethnie *Antandroy*.

Les *Antandroy* pratiquent moins la riziculture que les individus des groupes Hautes Terres ($P < 0,01$) et Sud-Est ($P < 0,05$).

IV.3- Influence de la scolarisation

Le tableau 8.8 présente les effectifs et les taux de pratique chez les jeunes (6-14 ans) selon leur statut scolaire. Nous rappelons que les effectifs des scolarisés et non scolarisés sont respectivement de 74 et 62 à Ampandratokana et de 29 et 12 à Kelivondraka.

Activité	Ampandratokana			Kelivondraka		
	% Scol	% NScol	Diff % NScol-% Scol	% Scol	% NScol	Diff % NScol-% Scol
Arrosage	5,4%	14,5%	9,1%	0,0%	8,3%	8,3%
Baignade associée	8,1%	16,1%	8,0%	24,1%	50,0%	25,9%
Lessive	14,9%	22,6%	7,7%	17,2%	33,3%	16,1%
Collecte d'eau	17,6%	24,2%	6,6%	31,0%	33,3%	2,3%
Riziculture	25,7%	21,0%	-4,7%	24,1%	16,7%	-7,5%
Pêche	1,4%	3,2%	1,9%	6,9%	8,3%	1,4%
Mobilité de proximité	17,6%	14,5%	-3,1%	3,4%	8,3%	4,9%
Mobilité éloignée	10,8%	12,9%	2,1%	27,6%	50,0%	22,4%

Tableau 8.8 : Effectifs et taux de pratique chez les jeunes (6-14 ans) selon leur statut scolaire dans les deux villages (% Scol : taux de pratique chez les enfants scolarisés ; % Nscol : taux de pratique chez les enfants non scolarisés)

Le test du Khi-2 montre qu'aucune activité n'est influencée par la scolarisation à Ampandratokana. A Kelivondraka des tendances apparaissent (non scolarisés pratiquant plus la baignade associée, la lessive et la mobilité éloignée que les scolarisés), mais les effectifs réduits n'autorisent pas de comparaison statistique.

V- Influence de la saison

Outre les facteurs socio-démographiques, l'alternance des saisons (chapitre 5) humide (octobre à avril) et sèche (mai à septembre) peut influencer la pratique des activités liées à l'eau, en relation avec le calendrier agricole comme avec la disponibilité et l'accessibilité des milieux hydriques.

L'analyse de l'influence de la saisonnalité a porté sur 5 activités pour lesquelles ce facteur avait été pris en compte (toutes sauf arrosage, collecte d'eau et mobilité de proximité). Pour la riziculture, les pratiques en saison humide (simple récolte) et en saisons humide et sèche (double récolte) sont différenciées. Pour la pêche, la baignade associée, la lessive et la mobilité éloignée, nous avons considéré les taux de pratique d'une saison à l'autre.

V.1.- Calendrier rizicole

A Ampandratokana, sur les 298 individus pratiquant la riziculture, 122 font une récolte par an (*vary afara*) qui a lieu généralement en mai-juin, tandis que 177 personnes pratiquent la double riziculture (*vary aloa / vary afara*) avec une seconde récolte fin novembre. Ainsi, un peu plus de la moitié (59%) des riziculteurs est exposée plus durablement à un contact avec les milieux hydriques.

A Kelivondraka, les 127 personnes pratiquant la riziculture font toutes une seule récolte par an et fréquentent donc leurs rizières en saison humide pour la préparation des terres, le semis et le repiquage et en début de saison sèche pour la récolte.

V.2.- Autres activités et saisonnalité

La figure 8.2 présente les taux de pratique des activités liées à l'eau en fonction de la saison à Ampandratokana.

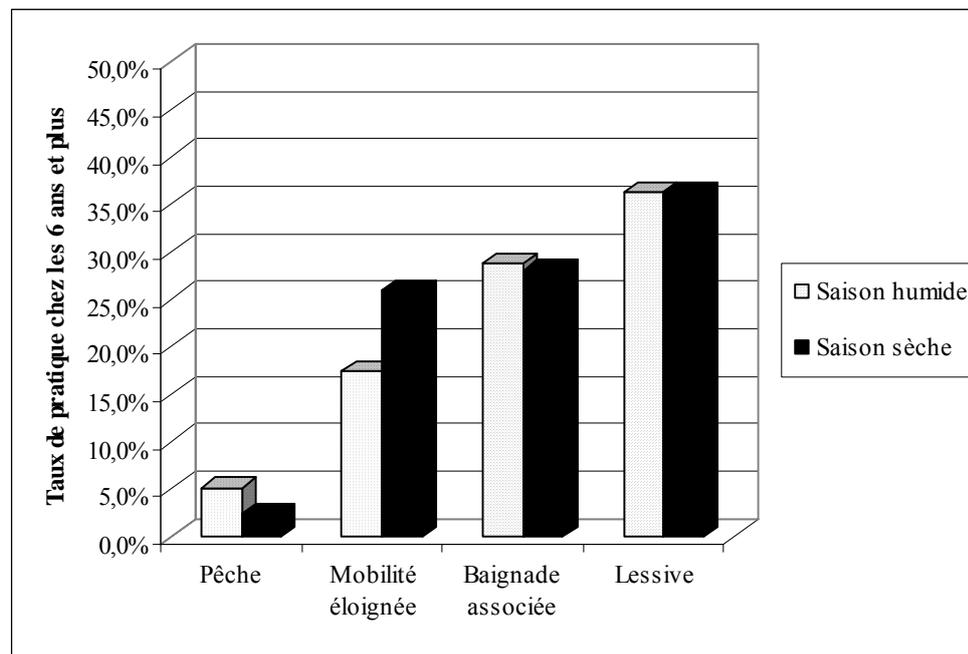


Figure 8.2 : Saisonnalité des activités à Ampandratokana

L'analyse statistique par le test du Khi-2 met en évidence une pratique de la pêche plus importante ($P < 0,05$) en saison humide qu'en saison sèche et de la mobilité éloignée ($P < 0,01$) en saison sèche qu'en saison humide. Ces variations sont liées pour la pêche à l'augmentation des milieux en eau (rivières et canaux) en saison humide, et pour la mobilité éloignée à la disponibilité plus grande en saison sèche des villageois, en

particulier ceux qui ne font qu'une récolte de riz. La lessive et la baignade associée ne présentent pas de variation saisonnière.

La figure 8.3 présente les taux de pratique des activités liées à l'eau en fonction de la saison à Kelivondraka.

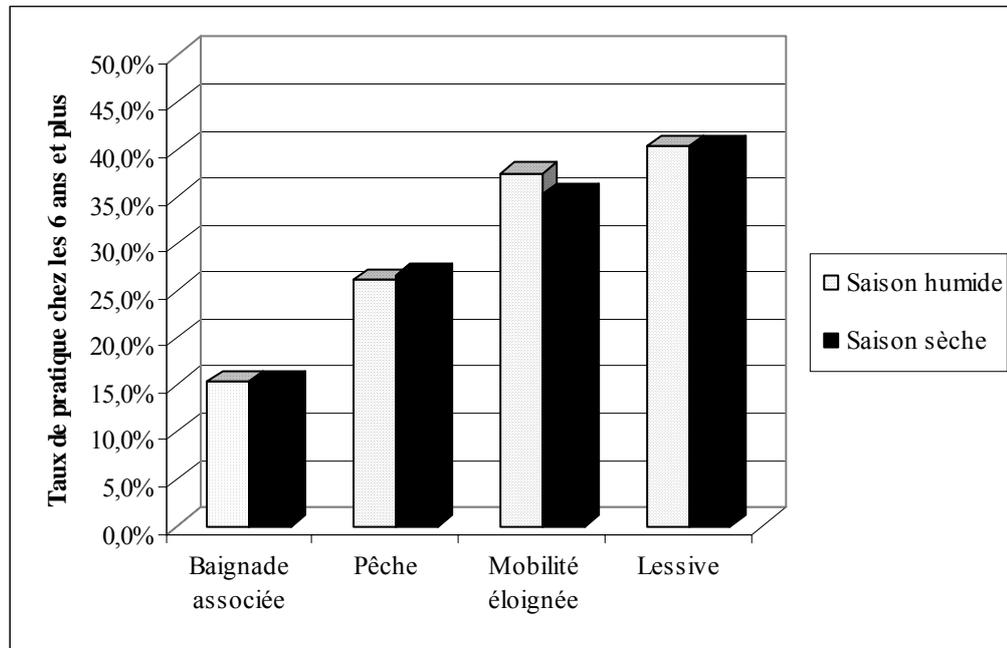


Figure 8.3 : Saisonnalité des activités à Kelivondraka

Le test du Khi-2 indique qu'il n'y a pas de différence significative dans la pratique des activités sous l'influence des saisons. Cependant, la mobilité éloignée a tendance à être plus pratiquée en saison humide (on peut émettre l'hypothèse d'un besoin de main d'œuvre plus important à cette saison dans les villages avoisinants où une double récolte est pratiquée).

VI- Modalités du contact à l'eau

Dans l'approche géographique de la transmission de la schistosomose intestinale, le contact de l'homme à l'eau est déterminant. La période horaire, en relation avec la chronobiologie de l'émission cercarienne (chapitre 1), est difficile à apprécier dans une enquête par questionnaire et n'a pas pu être prise en compte ici. La fréquence du contact et le niveau d'immersion ont en revanche été analysés pour la baignade, et la lessive, qui ont en commun d'être répétées et d'entraîner un contact intime systématique avec les

collections d'eau. Des indices de niveaux de fréquentation et d'immersion ont été créés afin d'apprécier les divergences d'un village à l'autre et selon la structure démographique.

VI.1- Fréquence des contacts

Nous avons calculé un indice individuel simple qui prend en compte le niveau de fréquentation, décliné en faible ($f : < 3$ fois par semaine) et élevé ($e : \geq 3$ fois), et la saison, sèche (S) ou des pluies (P). Pour chaque individu, la possibilité d'avoir un niveau de fréquentation faible ou élevé, pour la saison sèche comme pour la saison humide amène à prendre en compte 4 combinaisons. Etant donné que les données sont traitées de manière binaire, on a attribué un coefficient 2 au niveau de fréquentation élevé quelle que soit la saison.

$$\text{Indice de niveau de fréquentation : IF} = fS + fP + 2(eS + eP)$$

Les valeurs s'échelonnent de 2 à 4. Les moyennes ont été calculées pour chaque village et chaque catégorie démographique (selon l'âge et le sexe).

L'indice de fréquentation moyen "baignade" est comparable à Ampandratokana (3,5) et Kelivondraka (3,2). Il en va de même pour l'indice moyen "lessive" (3,1 et 3,2 respectivement), proche de l'indice "baignade".

Peu de variations des indices de fréquentation sont constatées pour la baignade selon l'âge (3,5 pour les 2 classes à Ampandratokana ; 3,1 pour les jeunes et 3,3 pour les adultes à Kelivondraka) ou le sexe (3,4 pour les femmes et 3,5 pour les hommes à Ampandratokana ; 3,2 pour les deux sexes).

Pour la lessive, il y a peu de variations selon l'âge à Kelivondraka (3,1 pour les jeunes et 3,2 pour les adultes) et aucune variation à Ampandratokana (3 pour les deux classes d'âge). Les femmes montrent un indice supérieur à celui des hommes à Ampandratokana (3,1 contre 2,8) comme à Kelivondraka (3,2 contre 2,7), traduisant une fréquentation plus importante des femmes que des hommes qui pratiquent la lessive.

VI.2- Niveau d'immersion

Un indice individuel simple est calculé qui prend en compte le niveau d'immersion, décliné différemment selon les deux activités : en partiel (p) et total (t) pour la baignade et nul² (n) et partiel (p) pour la lessive, et selon la saison, sèche (S) ou des pluies (P). Comme pour l'indice de fréquentation, il existe 4 combinaisons en fonction des saisons et des niveaux d'immersion qui sont sommées pour déterminer l'indice. Un coefficient 2 est attribué pour les niveaux d'immersion importants (total pour la baignade et partiel pour la lessive).

Indice de niveau d'immersion : INi baignade = pS + pP + 2 (tS + tP)

Indice de niveau d'immersion : INi lessive = nS + nP + 2 (pS + pP)

Les valeurs s'échelonnent de 2 à 5. Les moyennes ont été calculées pour chaque village et chaque catégorie démographique (selon l'âge et le sexe).

L'indice de niveau d'immersion moyen "baignade" est comparable à Ampandratokana (3,5) et Kelivondraka (3,7). Celui de la "lessive" est supérieur à Kelivondraka (3,8) par rapport à Ampandratokana (2,6). Cette différence pourrait être liée à des aménagements des berges (rochers...) plus importants à Ampandratokana qui évitent aux individus de rentrer partiellement dans l'eau.

Des variations dans le niveau d'immersion sont constatées pour la baignade selon l'âge ; l'indice chez les jeunes est supérieur à celui chez les adultes à Ampandratokana (respectivement 3,7 et 3,4 à Ampandratokana) tandis qu'il n'y a pas de différence à Kelivondraka (3,8). Il n'y a pas de différence selon le sexe à Ampandratokana (3,4 pour les femmes et 3,5 pour les hommes) comme à Kelivondraka (3,8 pour les 2 sexes).

Pour la lessive, l'indice d'immersion varie peu selon l'âge à Ampandratokana (2,7 pour les jeunes et 2,6 pour les adultes) comme à Kelivondraka (3,6 pour les jeunes et 3,8 pour les adultes). L'indice d'immersion varie selon le sexe uniquement à Kelivondraka (3,7 pour les femmes et 4 pour les hommes), tandis qu'il est équivalent à Ampandratokana (2,6).

² l'immersion est nulle quand la personne fait la lessive sur les rochers ou sur les berges

Ce chapitre met en évidence l'étroite relation des populations avec les milieux hydriques à travers les nombreuses activités liées à l'eau, que le lien soit obligatoire ou facultatif, auquel cas nous n'avons considéré comme pratiquant l'activité que les personnes qui l'associent à un contact hydrique.

L'activité « d'accompagnement », qui concerne les enfants de 1 à 5 ans, est surtout rattachée à la lessive, la baignade et aux mobilités de proximité et éloignée des personnes accompagnées (le plus souvent la mère).

Les activités des individus âgés de 6 ans et plus, telles que décrites à partir de la typologie simplifiée, sont hétérogènes dans leur taux de pratique. L'analyse met en évidence des similarités pour les activités domestiques dans les villages d'Ampandratokana et de Kelivondraka et des différences pour les activités à vocation agricole, pastorale et extractiviste (pêche) et de déplacement (mobilité éloignée). Elle montre que les deux villages ont des vocations économiques totalement différentes : polyculture, commerce de proximité et élevage à Ampandratokana ; riziculture, pêche, travail saisonnier à Kelivondraka.

L'influence des facteurs socio-démographiques sur la pratique des activités reconsidérées selon la typologie simplifiée montre que le sexe et l'âge pèsent davantage sur la distribution des pratiques que l'appartenance ethnique, tandis que la scolarisation n'a aucune influence. L'arrosage, la lessive, la collecte d'eau sont des activités essentiellement pratiquées par les femmes, tandis que la mobilité éloignée qui englobe le travail saisonnier mobilise essentiellement les hommes. L'influence de l'âge met en évidence, pour toutes les activités à Ampandratokana et pour 4 activités sur 7 (arrosage, lessive, riziculture, pêche) à Kelivondraka, un taux de pratique plus élevé pour les adultes que pour les jeunes.

L'influence de l'appartenance ethnique est visible pour l'arrosage qui concerne une proportion plus importante ($P < 0,05$) d'individus dans le groupe Hautes Terres que dans l'ethnie *Antandroy*. Les *Antandroy* pratiquent également moins la riziculture que les individus des groupes Hautes Terres ($P < 0,01$) et Sud-Est ($P < 0,05$).

La saisonnalité influence la riziculture qui n'est pratiquée qu'en saison des pluies à Kelivondraka et durant toute l'année par 59% des riziculteurs. La saisonnalité n'influence pas les autres activités liées à l'eau à Kelivondraka, tandis qu'à Ampandratokana la pêche est plus pratiquée en saison humide et la mobilité éloignée en saison sèche.

Les modalités des contacts à l'eau de la lessive et de la baignade montrent qu'il y a peu de variation intervillageoise et selon les critères démographiques (âge et sexe) pour l'indice de fréquentation moyen. L'indice de niveau d'immersion est comparable dans les deux villages pour la baignade, mais supérieur à Kelivondraka pour la lessive, lié à des aménagements moindres du « point lessive ».

L'indice INi est plus élevé chez les jeunes que chez les adultes à Ampandratokana.

Si les activités liées à l'eau sont étudiées, c'est surtout pour savoir dans quelle mesure elles exposent ou non les individus à des sites de transmission potentiels. La relation entre activités et milieux hydriques fréquentés fait l'objet du chapitre suivant.

-CHAPITRE 9-

ACTIVITES ET MILIEUX HYDRIQUES

A travers la typologie des milieux hydriques et la description des terroirs, réalisées respectivement aux chapitres 3 et 4, nous avons pu montrer dans les deux villages l'omniprésence de l'eau, sous des formes variées.

Nous allons nous intéresser ici, comme dans le chapitre 8, aux relations entre les populations villageoises et l'eau, et plus précisément aux milieux hydriques concernés par les activités liées, considérées selon la typologie modifiée : baignade, baignade associée (à la collecte du bois et au gardiennage du bétail), riziculture, arrosage (des cultures maraîchères et sur *baiboho*), collecte d'eau, lessive, pêche et mobilité de proximité. La toilette, qui se fait toujours à la maison (chapitre 3), et la mobilité éloignée, qui amène les villageois à l'extérieur de leur terroir, ne seront pas prises en compte.

Les milieux hydriques seront abordés selon leurs types, tels que décrits au chapitre 3 (biotypes définis selon des critères d'origine, de dynamique et de régime), car l'enquête par questionnaire fournit des réponses trop disparates pour une spatialisation précise des contacts. Nous avons vu au chapitre 7 que les milieux prospectés les plus favorables au développement des populations de *B. pfeifferi* sont les puisards, les rivières et affluents pérennes, les retenues et les canaux (pérennes et temporaires). L'analyse portera sur ces biotypes, ainsi que sur la source aménagée (à Ampandratokana) car cette collection d'eau, bien que n'hébergeant pas de planorbes, est fréquemment citée par les villageois. Seront exclus de l'analyse les autres biotypes dont *B. pfeifferi* s'est révélé absent et qui sont impropres à la transmission (parcelle rizicole, même si la transmission via l'eau du réseau d'irrigation reste possible) ou peu / pas fréquentés car situés hors-terroir (rivière et affluent temporaires). Seront également exclus les biotypes canal pérenne à Kelivondraka et puisard à Ampandratokana, jamais cités par les villageois dans leurs réponses sur les milieux hydriques fréquentés.

Après avoir présenté les biotypes hydriques pris en compte dans les deux villages, nous passerons rapidement sur le cas des enfants de moins de 6 ans. Pour les individus plus âgés d'Ampandratokana, nous nous intéresserons à la distribution des activités sur les biotypes (fréquentation différentielle), globalement et selon la structure démographique et la saison,

afin d'apprécier la "spécialisation" éventuelle d'une pratique donnée sur certains biotypes. Nous étudierons enfin, dans les deux villages et comparativement (selon l'âge et le sexe des individus), l'exploitation différentielle de chaque biotype, de façon à en évaluer la "vocation".

I- Cas des enfants de moins de 6 ans

Les enfants de moins de 6 ans (1 à 5 ans) qui accompagnent leurs parents dans certaines de leurs activités (chapitre 8) peuvent avoir un contact avec différents biotypes. Comme ces contacts peuvent être répétés (modulés par l'activité des parents), nous avons considéré l'effectif cumulé de réponses positives par biotype (somme des réponses de chaque biotope hydrique fréquenté relevant d'un biotype donné, pour chaque accompagnement) et non pas uniquement « fréquente ou ne fréquente pas ». Ce traitement permet de mieux rendre compte de l'intensité du contact avec chaque biotype. L'analyse ne tient pas compte de la variation saisonnière.

A Ampandratokana (104 enfants accompagnants), la fréquentation est concentrée sur deux biotypes ; rivière pérenne (58%) et canal pérenne (25%). Les retenues (9%) et canaux temporaires (8%) et la source aménagée (1%) sont peu fréquentés (1%).

A Kelivondraka (42 enfants accompagnants), le contact à l'eau se fait presque exclusivement en rivière (99%, contre 1% pour le type puisard).

II- Distribution des activités sur les biotypes

Pour les individus de plus de 6 ans (jeunes et adultes) comme pour les enfants, la distribution des activités sur les biotypes est appréciée à partir de l'effectif cumulé de réponses positives par biotype (somme des réponses de chaque biotope hydrique fréquenté relevant d'un biotype donné, pour chaque activité). Elle permet donc d'apprécier les biotypes fréquentés préférentiellement. La distribution est déterminée de manière globale, puis en fonction des facteurs démographiques (âge, sexe). L'influence de la saisonnalité est abordée à Ampandratokana pour trois activités majeures : riziculture, baignade, lessive.

II.1- Activités et biotypes à Ampandratokana

Le tableau 9.1 donne, pour les jeunes et adultes, les effectifs des réponses cumulées et les distributions des 8 activités liées à l'eau sur les biotypes, également illustrées figure 9.1,

sauf pour la mobilité de proximité, concentrée sur le seul biotype canal pérenne (il s'agit d'un canal en particulier, situé au niveau de la piste d'Ankily (station IV2, voir carte 7.1)).

Activité	Effectifs des réponses cumulées	Rivière pérenne	Retenue	Exurgence aménagée	Canal temporaire	Canal pérenne
Lessive	178	70,2%	11,8%		2,2%	15,7%
Baignade	552	69,2%	9,6%		6,0%	15,2%
Arrosage	105	66,7%	22,9%	10,5%		
Riziculture	315	5,7%			16,5%	77,8%
Collecte d'eau	201	15,4%		80,1%		4,5%
Pêche	8	50,0%	12,5%		37,5%	
Baignade associée	160	59,4%	40,6%			
Mobilité de proximité	198					100,0%
Toutes activités	1717	42,2%	9,6%	10,0%	5,4%	32,8%

Tableau 9.1 : Distribution des activités sur les biotypes hydriques à Ampandratokana

Le tableau 9.1 montre que les effectifs des réponses cumulées sont importants pour les activités baignade et riziculture, et décroissent pour la collecte d'eau, la mobilité de proximité, la lessive, la baignade associée et l'arrosage. L'effectif réduit des réponses (8) pour la pêche nous amène à considérer les distributions avec plus de prudence.

Pour toutes les activités confondues, les rivières et canaux pérennes sont les plus fréquentés (75% ensemble), tandis que les canaux temporaires le sont marginalement. La rivière pérenne est une ressource utilisée pour diverses activités (puisque 7 des 8 activités amènent à son contact), au même titre que la retenue et les canaux pérennes (5 activités sur 8).

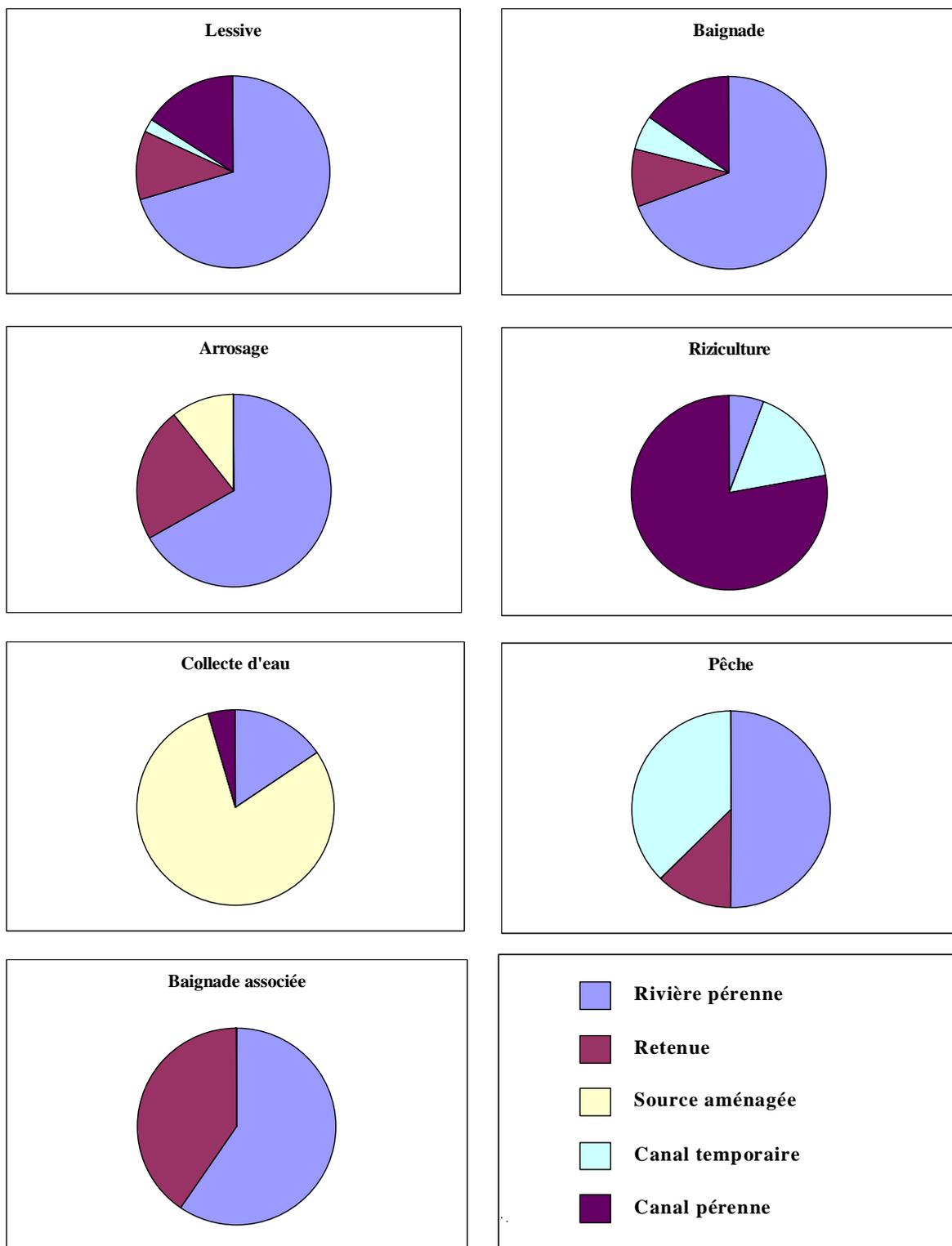


Figure 9.1 : Distribution des activités sur les biotypes hydriques à Ampandratokana

Les activités baignade, baignade associée, lessive, arrosage et pêche sont majoritairement pratiquées au niveau du biotype de rivière pérenne, mais la baignade associée la pêche et l'arrosage amènent aussi les individus à fréquenter 1 ou 2 autres biotypes, dont celui de retenue. La lessive et la baignade sont les activités qui conduisent aux contacts les plus diversifiés en biotypes.

Un lien étroit apparaît entre la riziculture et le contact avec les canaux pérennes et temporaires et entre la collecte d'eau et la source aménagée.

En ce qui concerne l'influence du sexe, le test du Khi-2 montre que, pour toutes les activités confondues, la source aménagée est plus fréquentée par les femmes ($P < 0,01$), tandis que les retenues ($P < 0,01$) et canaux pérennes ($P < 0,05$) le sont par les hommes. Ces différences peuvent s'expliquer par la répartition des tâches selon le sexe (collecte d'eau pour les femmes, baignade associée (gardiennage, collecte de bois) pour les hommes) et par leur pratique forte sur ces biotypes. Les divergences activité par activité vont dans le même sens mais ne sont pas significatives.

L'influence de l'âge, le test du Khi-2 montre que, pour toutes les activités confondues, la rivière pérenne est plus fréquentée ($P < 0,05$) par les jeunes que par les adultes. Pour la riziculture, le Khi-2 indique une fréquentation plus importante des canaux temporaires par les jeunes ($P < 0,05$) et des canaux pérennes par les adultes ($P < 0,05$). La lessive se fait plus au niveau des canaux pérennes par les jeunes ($P < 0,05$) et en rivière par les adultes ($P < 0,05$).

II.2- Activités et biotypes à Kelivondraka

Le tableau 9.2 donne, pour les jeunes et adultes, les effectifs des réponses cumulées et les distributions des 8 activités liées à l'eau sur les biotypes, également illustrées figure 9.2 pour les seules activités d'arrosage et de riziculture qui amènent à fréquenter plusieurs biotypes.

Les effectifs des réponses cumulées sont importantes pour la baignade et la riziculture, comme à Ampandratokana, et diminuent pour la mobilité de proximité, la collecte d'eau la lessive et la pêche. Ils sont encore plus faibles pour la baignade associée et l'arrosage.

Activité	Effectifs des réponses cumulées	Rivière pérenne	Affluent pérenne	Puisard	Canal temporaire
Lessive	71	100,0%			
Baignade	171	100,0%			
Pêche	47	100,0%			
Baignade associée	27	100,0%			
Mobilité de proximité	77	100,0%			
Collecte d'eau	76			100,0%	
Arrosage	27	59,3%		40,7%	
Riziculture	127	48,0%	2,4%		49,6%
Toutes activités	623	75,4%	0,5%	14,0%	10,1%

Tableau 9.2 : Distribution des activités sur les biotypes hydriques à Kelivondraka

Sur 8 activités liées à l'eau, 7 amènent à la rivière (dont 5 en exclusivité), ce qui fait de ce biotype le plus fréquenté. La collecte d'eau est strictement associée au biotype puisard, également exploité pour l'arrosage, en partage avec la rivière. La riziculture est la seule activité à concerner 3 milieux hydriques et à exploiter le biotype canal temporaire (le biotype canal pérenne n'a pas été cité, ce qui pourrait traduire les difficultés de compréhension lors des entretiens menés avec un traducteur).

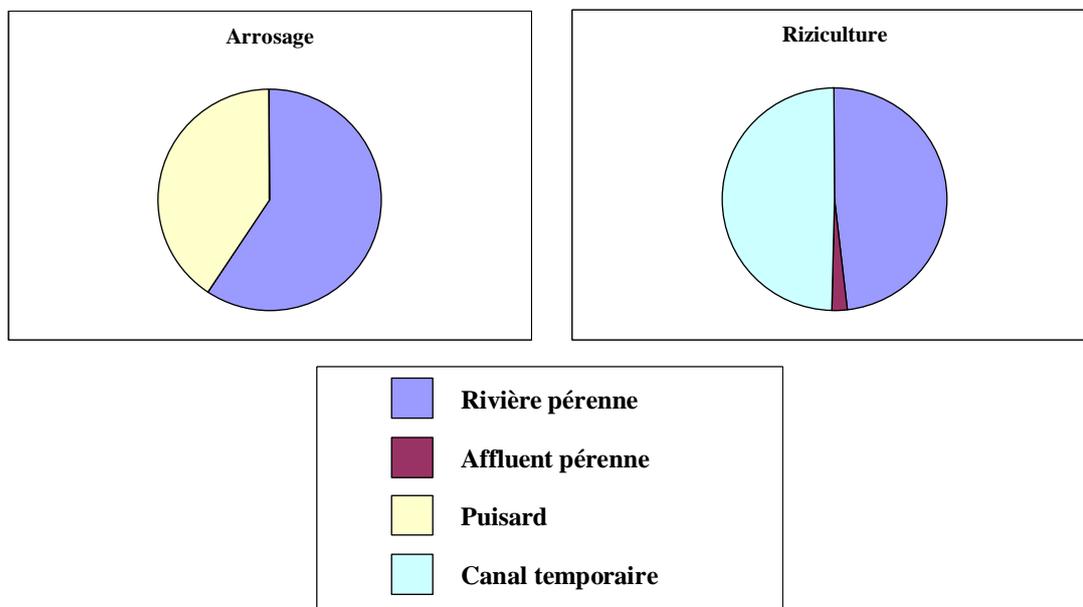


Figure 9.2 : Distribution de l'arrosage et de la riziculture sur les biotypes hydriques à Kelivondraka

En ce qui concerne le sexe, le test du Khi-2 montre que, pour toutes les activités confondues, la rivière est plus fréquentée ($P < 0,01$) par les hommes et les puisards plus ($P < 0,01$) par les femmes. Ces différences peuvent s'expliquer par la répartition des tâches selon le sexe (collecte d'eau pour les femmes, baignade associée pour les hommes). Les divergences activité par activité vont dans le même sens mais ne sont pas significatives.

La modulation selon l'âge ne montre aucune différence significative, pour toutes les activités confondues.

II.3- Comparaison intervillageoise

La figure 9.3 illustre dans quelle mesure les distributions de l'ensemble des activités sur les biotypes divergent d'un village à l'autre.

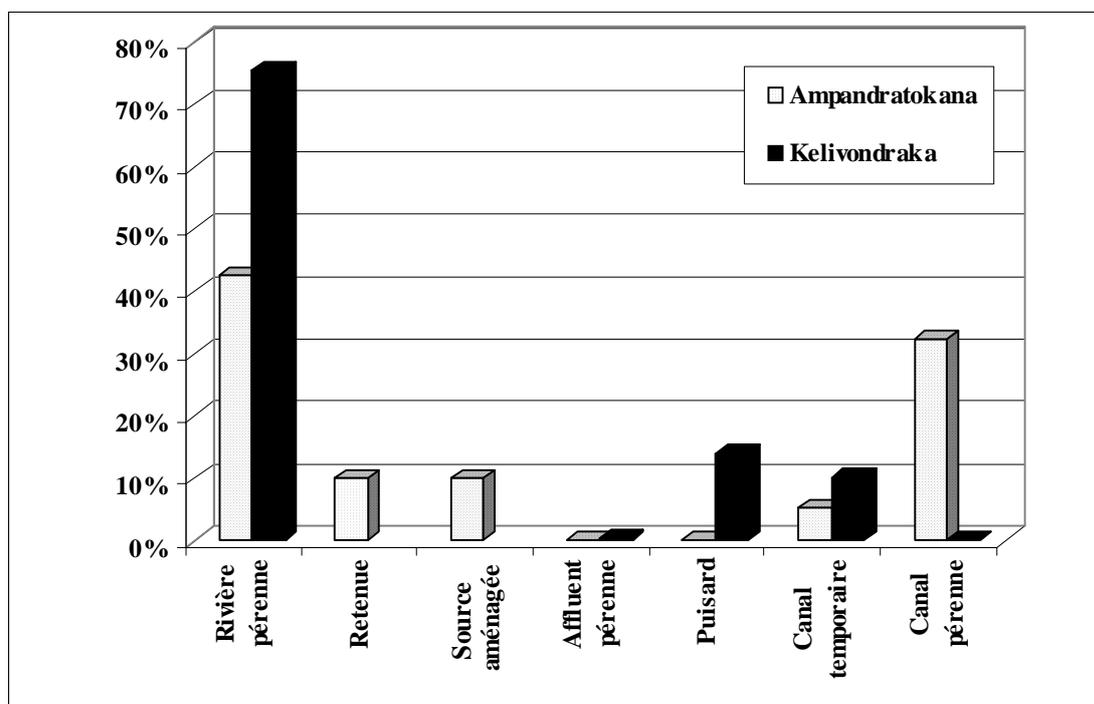


Figure 9.3 : Distribution de l'ensemble des activités sur les biotypes hydriques à Ampandratokana et à Kelivondraka

La fréquentation de la rivière est moins importante à Ampandratokana (43%) qu'à Kelivondraka (75%), mais cette différence est sans doute liée à la plus grande diversité des ressources hydriques à Ampandratokana (qui dispose seul de retenues et d'une source).

II.4- Influence des saisons

Pour déterminer dans quelle mesure la saisonnalité peut influencer la distribution sur les biotypes hydriques des activités déjà étudiées du point de vue saisonnier (riziculture, baignade et lessive, cf. chapitre 8), nous avons analysé les données du village d’Ampandratokana, dont l’effectif élevé d’individus enquêtés autorise les tests statistiques.

II.4.1- Calendrier rizicole et fréquentation des biotypes

Pour la riziculture, la distribution sur les biotypes pendant les deux périodes définies au chapitre 8 (saison des pluies / simple récolte ; saisons des pluies et sèche / double récolte) est donnée dans le tableau 9.3.

Saison	Effectifs des réponses cumulées	Biotype		
		Canal temporaire	Canal pérenne	Rivière pérenne
SPs	314	17%	77%	6%
SS (+SP)	193	22%	71%	7%

Tableau 9.3 : Distribution de la fréquentation associée à la riziculture sur les biotypes hydriques selon les saisons à Ampandratokana

SPs : saison des pluies seule ; SS(+SP) : saison sèche et saison des pluies

Le test du Khi-2 ne montre aucune différence dans les distributions selon les deux périodes définies.

II.4.2- Baignade et lessive sur les biotypes d’une saison à l’autre

Pour la baignade et la lessive, la distribution sur les biotypes hydriques pendant les saisons humide et sèche est donnée au tableau 9.4. Le biotype canal temporaire n’a pas été pris en compte dans l’analyse du fait qu’il n’est en eau qu’en saison des pluies.

	Baignade				Lessive			
	Eff. réponses cumulées	Canal pérenne	Retenue	Rivière pérenne	Eff. réponses cumulées	Canal pérenne	Retenue	Rivière pérenne
Saison des pluies	474	12%	11%	77%	164	17%	12%	71%
Saison sèche	480	16%	9%	75%	167	16%	11%	73%

Tableau 9.4 : Distribution de la baignade et la lessive sur les biotypes hydriques selon les saisons à Ampandratokana

L'analyse statistique par le test du Khi-2 montre que la saisonnalité n'influence pas la distribution des activités baignade et lessive sur les biotypes hydriques.

III- Exploitation différentielle des biotypes

En raison de la prédilection des planorbes hôtes intermédiaires pour certains biotypes hydriques, il est utile de considérer dans quelle mesure ces derniers sont préférentiellement exploités dans tel ou tel cadre, définissant pour la schistosomose intestinale des activités à risque susceptibles de désigner à leur tour un groupe de population à risque. Sachant par exemple que les deux retenues sur l'Ivatriana sont colonisées par *B. pfeifferi*, avec des effectifs cumulés élevés (chapitre 7), on peut supposer, si ces retenues sont fréquentées surtout en relation avec la baignade associée (au gardiennage du bétail et au ramassage du bois à proximité), que ce sont les adultes, pratiquant la baignade associée à 36%, contre 11% chez les jeunes (chapitre 8), et plus les hommes, pratiquant cette activité à 41%, contre 16% chez les femmes, qui seront les plus exposés au risque de transmission parasitaire.

Nous avons considéré ici la "vocation" des biotypes hydriques, indépendamment des saisons (nous avons vu l'absence de l'influence des saisons sur la distribution des biotypes au § III.4), en regardant pour quelles activités ils constituent une ressource essentielle. Cette lecture permet d'apprécier le poids relatif des activités.

III.1- Exploitation des biotypes à Ampandratokana

Le tableau 9.5 donne, pour chacun des 5 biotypes pris en compte, les effectifs des réponses cumulées et les distributions des 8 activités liées à l'eau, également illustrées à la figure 9.4, pour les jeunes et adultes.

Biotype	Effectifs des réponses cumulées	Lessive	Baignade	Baignade associée	Arrosage	Riziculture	Collecte d'eau	Pêche	Mobilité de proximité
Rivière pérenne	725	17,2%	52,7%	13,1%	9,7%	2,5%	4,3%	0,6%	
Retenue	164	12,8%	32,3%	39,6%	14,6%			0,6%	
Source aménagée	172				6,4%		93,6%		
Canal temporaire	92	4,3%	35,9%			56,5%		3,3%	
Canal pérenne	564	5,0%	14,9%			43,4%	1,6%		35,1%

Tableau 9.5 : Exploitation différentielle des biotypes hydriques à Ampandratokana

Les effectifs des réponses cumulées montrent des pressions importantes pour les biotypes de rivière et canal pérenne, qui décroissent pour les biotypes de source, de retenue et canal temporaire.

Les activités de baignade (seule et associée) arrivent au premier rang pour le biotype de rivière pérenne (76% ensemble) et de retenue (72% ensemble). La riziculture arrive au premier rang pour les canaux temporaires (57%) et les canaux pérennes (43%), tandis que la baignade a un poids important (respectivement 36% et 15%).

Le test du Khi-2 indique que les hommes fréquentent plus les rivières pour la baignade associée ($P < 0,01$) et les femmes pour la lessive, la collecte d'eau et l'arrosage ($P < 0,05$). Les retenues sont exploitées par les hommes préférentiellement pour la baignade associée ($P < 0,01$) et par les femmes pour l'arrosage et la lessive ($P < 0,01$). Les canaux pérennes sont plus utilisés par les hommes pour la riziculture ($P < 0,01$) et par les femmes pour la lessive ($P < 0,01$). Aucune différence selon le sexe n'apparaît dans l'utilisation de la source pour la collecte d'eau.

L'analyse statistique indique que les adultes fréquentent plus les rivières pour la baignade associée ($P < 0,05$) et la lessive ($P < 0,01$) et inversement les jeunes pour la baignade ($P < 0,01$). Les retenues sont exploitées préférentiellement par les jeunes pour la baignade ($P < 0,01$). Les canaux pérennes sont plus utilisés par les adultes pour la riziculture ($P < 0,01$) et la mobilité de proximité ($P < 0,05$) et par les jeunes pour la baignade ($P < 0,01$).

Ces résultats sont conformes aux différenciations relevées pour les activités liées à l'eau en fonction des critères socio-démographiques (chapitre 8).

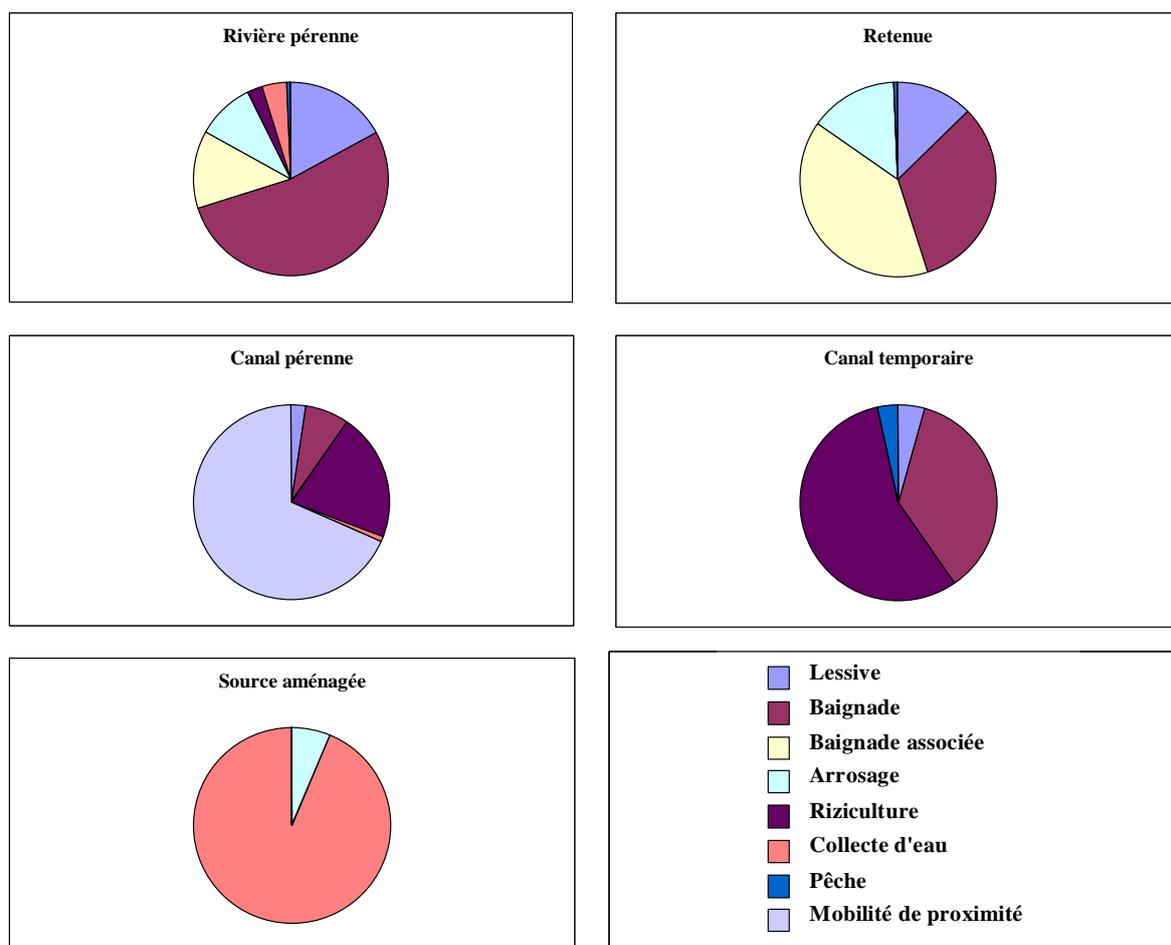


Figure 9.4 : Exploitation différentielle des biotypes hydriques à Ampandratokana

III.2- Exploitation des biotypes à Kelivondraka

Le tableau 9.6 donne pour chacun des 4 biotypes hydriques pris en compte à Kelivondraka, les effectifs des réponses cumulées et la distribution des activités, pour la population âgée de 6 ans et plus. La distribution pour le biotype de rivière est présentée à la figure 9.5.

Biotype	Effectifs des réponses cumulées	Lessive	Baignade	Arrosage	Riziculture	Collecte d'eau	Pêche	Baignade associée	Mobilité de proximité
Rivière pérenne	470	15%	36%	3%	13%		10%	6%	16%
Affluent pérenne	3				100%				
Puisard	87			13%		87%			
Canal temporaire	63				100%				

Tableau 9.6 : Exploitation différentielle des biotypes hydriques à Kelivondraka

La rivière pérenne est fréquentée pour 7 des 8 activités (hors collecte d'eau) et la baignade, la mobilité de proximité et la lessive sont les activités les plus représentées (figure 9.6).

Les autres biotypes sont spécialisés sur deux activités (les puisards, utilisés pour la collecte d'eau et secondairement pour l'arrosage), voire une seule (l'affluent pérenne et les canaux temporaires ont une vocation exclusivement rizicole).

Les effectifs des réponses cumulées montrent des pressions importantes pour le biotype rivière, qui décroissent pour les biotypes puisard, canal temporaire et affluent pérenne.

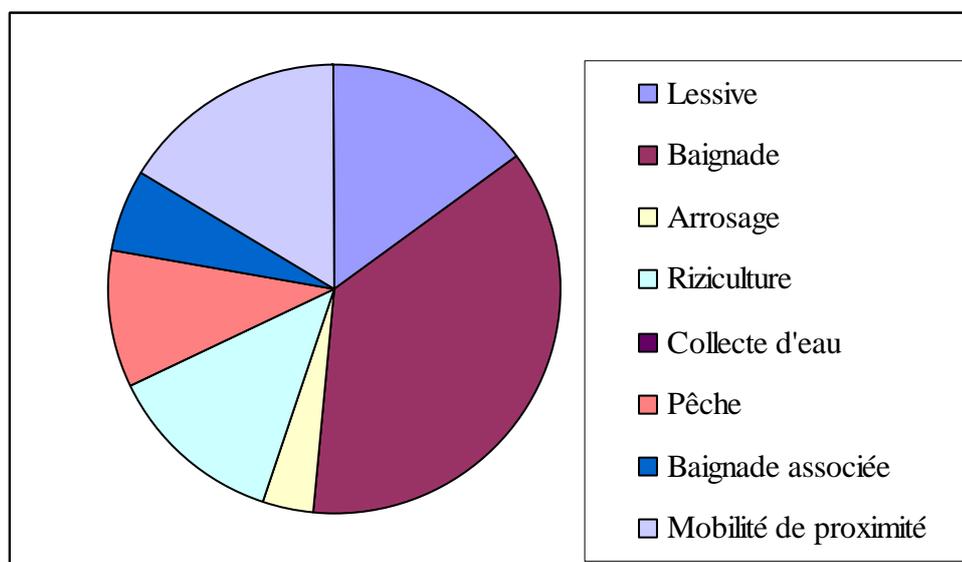


Figure 9.5 : Exploitation différentielle de la rivière à Kelivondraka

Le test du Khi-2 indique que les hommes fréquentent plus les rivières pour la baignade ($P < 0,05$) et les femmes pour la lessive ($P < 0,01$).

Il met également en évidence une fréquentation plus importante des rivières par les jeunes ($P < 0,01$) pour la baignade.

Aucune différence selon le sexe n'apparaît dans l'utilisation des puisards.

III.3- Comparaison intervillageoise

La comparaison intervillageoise de l'exploitation différentielle des biotypes met en avant pour les deux villages la distinction entre :

- des biotypes à vocations multiples ; les rivières dans les deux villages, les retenues à Ampandratokana ;

- des biotypes spécialisés pour certaines activités ; les canaux temporaires dans les deux villages (baignade uniquement à Ampandratokana, riziculture), la source aménagée à Ampandratokana, les puisards à Kelivondraka qui sont quasi-exclusivement fréquentés pour l'activité collecte d'eau.

La comparaison inter-villageoise de la modulation selon l'âge et le sexe révèle des modalités communes. Dans les deux villages les femmes fréquentent plus la rivière pérenne que les hommes pour la pratique de la lessive. Par ailleurs les jeunes fréquentent plus la rivière pérenne que les adultes pour la baignade. Aucune différence selon le sexe n'apparaît dans l'utilisation de la source à Ampandratokana et dans l'utilisation des puisards à Kelivondraka pour la collecte d'eau.

La relation entre l'homme et les milieux hydriques est forte et souvent obligatoire à Ampandratokana comme à Kelivondraka en l'absence de système d'adduction d'eau. Ce chapitre met en évidence la distribution des biotypes hydriques fréquentés lors des activités multiples pratiquées par chaque individu, rendant difficile la définition de populations à risque.

Chez les enfants de moins de 6 ans, l'activité d'accompagnement est concentrée sur deux biotypes pérennes (rivière, canal) à Ampandratokana et sur la rivière à Kelivondraka.

Pour les populations âgés de 6 ans et plus l'opposition entre le caractère « multi-usage » de la rivière, où la pression est forte et la spécialisation plus ou moins marquée des autres biotypes par rapport à certaines activités, notamment à Kelivondraka où les biotypes sont moins nombreux.

La spécialisation est d'ailleurs plus marquée à Kelivondraka qu'à Ampandratokana. La saisonnalité est un facteur qui n'influence pas la distribution des 3 activités (riziculture, lessive, baignade) sur les biotypes à Ampandratokana.

Dans les deux villages, le biotype de rivière pérenne est utilisé pour toutes les activités liées à l'eau (exceptée la collecte d'eau à Kelivondraka). Etant donné que ces différentes activités concernent toutes les classes de population, il n'est pas possible de déterminer des

groupes à risque, ni des périodes à risque pour ce biotype qui héberge des mollusques en quantité importante et toute l'année (cf. chapitre 7).

A Ampandratokana, les femmes adultes qui pratiquent préférentiellement la mobilité de proximité (cf. chapitre 8) en contact avec les canaux pérennes encourent un risque plus important d'être infestées, étant donné le nombre élevé de mollusques collectés dans ce biotype. Le risque augmente en saison des pluies, où les mollusques voient leurs effectifs s'accroître par rapport à la saison sèche (cf. chapitre 7).

A Ampandratokana et à Kelivondraka, les femmes adultes qui pratiquent aussi plus la collecte d'eau et l'arrosage que les hommes (cf. chapitre 8), en proportion importante sur la source aménagée (Ampandratokana) et sur les puisards (Kelivondraka), encourent peu de risque de s'infester lors de ces activités, en raison de l'absence de mollusques dans ce biotype (cf. chapitre 7). Elles pourraient être considérées comme des populations à risque mineur, à condition qu'elles n'aillent pas fréquenter d'autres biotypes hydriques à risque potentiel (hébergeant des mollusques) lors d'autres activités. Mais à Ampandratokana comme à Kelivondraka, ce n'est pas le cas et c'est ce qui rend complexes les relations homme-eau et multiplie les chances pour les individus de s'infester, sans que l'on sache véritablement au cours de quelle activité et dans quel biotope hydrique.

L'influence de l'âge est aussi marquée dans l'exploitation des biotypes puisque dans les deux villages les jeunes fréquentent plus la rivière que les adultes pour l'activité de baignade. La spécialisation des activités selon les facteurs démographiques entraîne alors une spécialisation des biotypes (hormis la rivière) fréquentés selon ces mêmes facteurs.

Le test du Khi-2 n'indique aucune différence selon l'âge et le sexe dans la fréquentation de la rivière pour la baignade, ce qui ne permet pas de distinguer des groupes de population à risque. Mais globalement cette activité, en raison de sa fréquence élevée, du niveau d'immersion important (cf. chapitre 8) et de l'abondance des mollusques dans les rivières (chapitre 7), présente un risque majeur dans la transmission parasitaire. La diminution des effectifs de mollusques durant la saison humide laisse toutefois supposer que le risque y est alors moindre.

Si les contacts homme-eau ont été étudiés précisément en fonction de différents facteurs, socio-démographiques, temporels et spatiaux c'est parce qu'ils conditionnent la dynamique de transmission de la schistosomose intestinale. Les relations à l'eau et le niveau d'infestation par *S. mansoni* seront étudiées dans le dernier chapitre de notre travail.

-CHAPITRE 10-

RELATIONS A L'EAU

ET NIVEAU D'INFESTATION PAR *S. MANSONI*

Dans ce dernier chapitre, après avoir mis en évidence la diversité des relations homme-eau et l'influence de certains facteurs, notamment démographiques (chapitre 8 et 9), nous tenterons de tirer parti des données d'accès à l'eau pour déterminer un indice de risque simple. Dans le cas de la schistosomose intestinale et en termes de santé humaine, ce concept de risque est surtout pris au sens du risque d'infestation, du point de vue de l'homme, qui est étroitement lié au risque d'exposition ; ce dernier correspond à celui d'être au contact direct avec le milieu hydrique qui héberge le parasite. En repartant du cycle de transmission de la maladie, on peut également définir le risque de contamination par l'homme par l'introduction d'œufs dans l'eau, via les selles. La combinaison des deux risques (infestation et contamination) amène à définir le risque de transmission (Grisorio, 2004, Grisorio *et al.*, 2005)

La confrontation des données géographiques avec les résultats des enquêtes parasitologiques réalisées par nos collègues de la DLMT nous permettra de voir s'il existe un lien entre les contacts à l'eau et les niveaux d'infestation et de déterminer les facteurs qui pourraient expliquer les variations parasitaires au sein des populations.

Après avoir exposé les situations pour la schistosomose intestinale à Ampandratokana et à Kelivondraka, nous présenterons les modalités et les résultats de l'analyse de la relation « risque d'exposition-parasitologie » réalisée pour le village d'Ampandratokana.

Différents niveaux d'infestation seront définis et analysés au regard des activités liées à l'eau et des biotypes hydriques fréquentés au cours de leur pratique.

I- La schistosomose intestinale dans les deux villages

Le niveau d'endémie de la schistosomose intestinale à *S. mansoni* a été estimé initialement à Ampandratokana et Kelivondraka, en milieu scolaire sur des échantillons d'effectifs réduits (1998), puis sur l'ensemble de la population à Ampandratokana (1999).

I.1- Enquêtes initiales d'évaluation

En avril 1998, la DLMT et l'IPM ont réalisé dans le cadre du PNLS des enquêtes parasitologiques sur les enfants scolarisés (EPP) dans différents villages de la sous-préfecture d'Ihosy, dont nos deux villages d'étude (cf. chapitre 2). Elles ont reposé sur la méthode qualitative MIF et la prévalence a été calculée en considérant comme atteint tout individu ayant présenté des œufs. Elles ont été accompagnées d'un traitement par chimiothérapie au praziquantel pour tous les enfants atteints de schistosomose intestinale.

Les prévalences estimées à Ampandratokana (32 garçons et 32 filles) et à Kelivondraka (22 garçons et 15 filles) étaient de 79% et 89% respectivement.

I.2- Enquête complémentaire à Ampandratokana

Une enquête complémentaire a été réalisée par le Laboratoire Central des Bilharzioses de la DLMT en 1999 sur l'ensemble de la population d'Ampandratokana. Cette enquête a concerné 364 personnes (191 de sexe masculin et 173 de sexe féminin) sur les 385 recensées. Elle a reposé sur un double échantillonnage de selles, à 24 heures d'intervalle, avec recherche des œufs du parasite par la méthode quantitative Kato-Katz. La prévalence a été calculée en considérant comme atteint tout individu ayant présenté des œufs un jour et/ou l'autre. La charge¹ en œufs a été estimée pour chaque individu positif à partir des charges correspondant aux 2 jours d'examen (moyenne).

Les résultats ont mis en évidence une prévalence du même ordre qu'en 1998 (81%), associée à une charge moyenne de 321 opg. Le village a fait l'objet d'un traitement de masse par chimiothérapie dès la fin de l'enquête complémentaire.

¹ La charge parasitaire individuelle s'exprime en nombre d'œufs/g de selles (opg).

Parmi les 364 personnes concernées par cette enquête, 235 (65%) ont participé à notre enquête géographique en 2001 (chapitre 4). Le test du khi-2 appliqué à la comparaison des structures démographiques (âge et sexe) montre que globalement cette population est représentative de l'échantillon parasitologique.

Le tableau 10.1 donne les prévalences et les charges parasitaires moyennes² selon l'âge et le sexe dans l'échantillon enquêté conjointement sur les plans géographique et parasitologique. La prévalence y est de 82%, avec une charge moyenne de 363 opg.

Sexe	Classes d'âge	Examinés	Positifs	Prévalence	Œufs	Charge
Masculin	enfants	19	12	63%	1356	113
	jeunes	25	24	96%	7562	315
	adultes	89	77	87%	21264	276
Féminin	enfants	18	5	28%	636	127
	jeunes	13	11	85%	5961	542
	adultes	71	63	89%	21649	344

Tableau 10.1 : Prévalences et charges moyennes en œufs estimées en 1999 pour la schistosomose intestinale à Ampandratokana, selon l'âge (enfants : 1 à 5 ans ; jeunes : 6 à 14 ans ; adultes : 15 ans et plus) et le sexe dans l'échantillon enquêté conjointement sur les plans géographique et parasitologique.

Le test du Khi-2 met en évidence des prévalences supérieures ($P < 0,05$) chez les enfants de sexe masculin par rapport à ceux de sexe féminin.

Qu'il s'agisse d'un échantillon ou de l'autre, l'évaluation parasitologique met en évidence une prévalence moins forte tous sexes confondus chez les enfants (46% dans notre échantillon) que chez les jeunes et les adultes (92% et 88% respectivement), mais les différences n'ont pas pu être validées statistiquement (effectifs trop faibles pour le test du Khi-2). Il en va de même pour les charges moyennes (117 opg chez les enfants contre 386 et 307 opg chez les jeunes et les adultes).

II- Echantillons géographique et parasitologique

La mise en relation « géographie-parasitologie », basée sur nos résultats à l'échelle de la population d'Ampandratokana, peut être envisagée. A Kelivondraka, nous n'avons pas fait la mise en relation, en raison des effectifs des populations enquêtées sur le plan géographique

² La charge parasitaire moyenne est le cumul du nombre d'œufs/g de selles positives divisé par le nombre de personnes parasitées

plus faibles (résultats plus difficiles à valider sur le plan statistique) et surtout de l'absence de données parasitologiques suffisantes.

Il faut cependant préciser que cette mise en relation doit prendre en compte le problème du décalage de 2 ans entre les enquêtes parasitologiques (1999) et géographiques (2001) ; l'interprétation des données géographiques est réalisée en fonction de l'âge en 2001 et appliquée aux mêmes tranches en 1999.

Après avoir vérifié la représentativité de l'échantillon des 235 personnes par rapport à l'enquête parasitologique de 1999 nous devons juger de la représentativité de l'échantillon géo-parasitologique par rapport aux 600 personnes enquêtées en 2001.

Une comparaison des structures démographiques de l'échantillon de 235 personnes par rapport à celle de l'échantillon enquêté en 2001 (les individus de moins de un an ont été exclus de l'analyse pour être en conformité par rapport à l'échantillon géo-parasitologique, portant ainsi le nombre de personnes géo-enquêtées à 571) est réalisée.

L'analyse statistique par le test du Khi-2 montre que les adultes ($P < 0,01$) et le groupe des hommes adultes ($P < 0,05$) sont sur-représentés dans l'échantillon géo-parasitologique ($95 / 235 = 40\%$), par rapport à l'échantillon géographique total ($170 / 571 = 30\%$), tandis que les enfants sont sous-représentés ($P < 0,05$), mais cela ne gêne pas l'interprétation de l'enquête géographique.

III- Exposition et infestation individuelles

Dans un premier temps nous allons voir si la pratique d'activités sur des biotypes à risque, appréciée à travers un indice de risque individuel peut avoir un lien avec le niveau d'infestation, exprimé par la charge parasitaire.

III.1- Indice individuel d'exposition

Notre démarche a consisté à créer un indice de risque destiné tout d'abord à caractériser chaque individu par un niveau de risque potentiel d'exposition prenant en compte les activités et les biotypes hydriques fréquentés pour leur pratique. Parmi les activités prises en compte au chapitre 9, l'arrosage et la collecte d'eau ont été négligés car ils sont sans risque (pratiqués en majorité au contact de la source). Parmi les biotypes pris en compte au chapitre 9, la source et les canaux temporaires ont été exclus car ils n'hébergent pas ou peu de mollusques. Les activités retenues sont la baignade, la baignade associée, la riziculture, la lessive, la pêche et

la mobilité de proximité. Les biotypes pris en compte sont les rivières pérennes, les canaux pérennes et les retenues.

L'indice de risque est déterminé indépendamment des variations saisonnières. Une réponse positive pour la pratique d'une activité sur un biotype donné a une valeur 1 (absence de pratique = 0). L'indice individuel de risque par biotype est la somme des réponses positives pour les 6 activités retenues et le biotype concerné. L'indice individuel de risque "global" est la somme des indices calculés pour chacun des 3 biotypes retenus.

Les valeurs de l'indice varient entre 0 et 7 (tableau 10.2).

Classes Indice de risque	Effectifs	Distribution
0	3	1%
1	44	19%
2	52	22%
3	60	26%
4	48	20%
5	22	9%
6	4	2%
7	2	1%
Total	235	100%

Tableau 10.2 : Effectifs et distribution des enquêtés sur le plan géo-parasitologique en fonction de l'indice de risque

Le tableau 10.2 indique que la majorité (68%) des individus ont un indice de risque moyen (2 à 4) et seulement 12% des individus présentent un indice de risque élevé (5 à 7).

III.2- Exposition individuelle et statut indemne / infesté

Confronter les niveaux d'indice de risque d'exposition à la situation parasitologique permet de voir s'il existe une certaine relation entre le fait ou non de fréquenter plus ou moins des biotypes à risque et l'infestation.

Nous avons apprécié rapidement de manière qualitative et selon une analyse binaire la mise en relation entre l'indice de risque exprimé selon le critère "exposé" ou "non exposé" et le statut parasitaire défini selon le critère "infesté" ou "indemne".

L'analyse binaire met en évidence 4 classes :

- - les exposés / infestés : 80,9% ;
- - les non exposés / indemnes : 0,4% ;
- - les exposés / indemnes : 17,9% ;
- - les non exposés / infestés : 0,9%

Les combinaisons les plus "cohérentes" concernent 81,3% des individus, ceux qui sont exposés et atteints et ceux qui ne sont pas exposés et indemnes ; les exposés et atteints représentent 80,9%, ce qui est tout à fait cohérent dans ce contexte d'hyperendémicité.

La catégorie suivante, qui regroupe les individus exposés et indemnes, représente les « chanceux », ou des personnes bénéficiant d'une meilleure protection immunitaire. La proportion de cette catégorie est assez élevée, mais ne présente pas une franche aberration lorsque l'on sait que du mollusque recherché par le biologiste aux vaisseaux sanguins de l'homme interrogé par le géographe, le parasite doit franchir de nombreux obstacles qui ne lui permettent pas forcément d'atteindre le stade adulte apparié, producteur d'œufs qui seront excrétés et recherchés par le médecin.

Les individus qui ne s'exposent pas et qui sont pourtant infestés sont représentés en très faibles proportions (0,9%).

D'une manière générale les résultats de l'approche selon le statut qualitatif (infesté ou non / exposé ou non) sont très acceptables mais il est nécessaire de tester plus précisément la relation entre l'indice de risque d'exposition et le niveau d'infestation (charge parasitaire).

III.3- Exposition individuelle et charge parasitaire

Confronter l'indice d'exposition individuel à la charge parasitaire permet de voir s'il y a une relation entre le niveau de risque et l'intensité de l'infestation.

En prenant les 235 personnes de l'échantillon géo-parasitologique l'analyse statistique par le test V de Cramer montre qu'il n'y a pas de relation entre les deux variables ($v=0,172$; communément on admet qu'il y a relation quand $v > 0,2$). L'analyse sur les individus âgés de

6 à 14 ans montre que le lien n'est pas non plus établi. Le coefficient linéaire de Bravais-Pearson ($R^2=0,11$) montre qu'il n'y a aucune corrélation.

IV- Comportements à risque et parasitisme

Il nous a paru nécessaire d'aborder la relation du risque de transmission et du niveau d'infestation (charge) de manière plus précise, en approchant l'analyse selon des groupes d'individus pour certaines analyses (classes de niveaux d'infestation, intensité du contact à l'eau pour la lessive et la vaisselle). L'approche se fait toujours en partant des données géographiques pour apprécier la "conformité" des données parasitologiques.

L'étude du risque de transmission de la schistosomose intestinale doit s'appuyer sur les modalités du contact de l'homme avec les milieux hydriques potentiellement infestés. Ces dernières sont multiples et ont déjà été évoquées durant ce travail (fréquence des contacts et niveau d'immersion, période de la journée...). Trois d'entre elles ont pu être appréhendées dans notre étude ; la fréquentation de biotopes (sites) à risque majeur, l'intensité du contact à l'eau et la diversité des relations à l'eau. mais pas forcément de manière précise (niveau d'immersion qualitatif) ;

Des indices d'exposition ont été créés (Kloos *et al.*, 1990) en prenant en compte différentes variables. Le plus connu est l'indice TBM (Total Body Minutes) qui est calculé individuellement et qui est égal au produit du nombre de contacts, du pourcentage de la surface de corps immergée et de la durée du contact (en min).

IV.1- Fréquentation de biotopes à risque majeur

La probabilité que les populations soient infestées par le parasite est d'autant plus importante qu'elles fréquentent des biotopes à risque majeur de transmission.

Il convient donc de déterminer dans un premier temps s'il existe à Ampandratokana de tels sites, identifiables essentiellement sur la base des données malacologiques (abondance des mollusques), mais aussi des enquêtes géographiques (pression des contacts sur les sites et fréquentation plus ou moins "spécialisée" autour d'une activité).

Deux sites ont été définis comme à risque important ;

- le site AI8c (rivière Ampasimaiky) dans le cadre de l'activité lessive, concentrée sur ce point en particulier (il représente 55% des réponses de fréquentation des biotopes sur le biotype de rivière pérenne qui est majoritairement utilisé pour la lessive ; 70% indiqué dans le chapitre 9) ;

- le site IV2 (canal pérenne au bord de la piste menant à Ankily) dans le cadre de la mobilité de proximité, qui n'occasionne de contact à l'eau qu'à cet endroit.

La question est de savoir si les personnes qui fréquentent ces sites sont plus touchées par la maladie que celles qui ne les fréquentent pas.

Nous ne donnons pas le détail des résultats chiffrés mais l'analyse statistique par le test du Khi-2 montre qu'il n'y pas de différence de prévalence entre les personnes qui fréquentent et celles qui ne fréquentent pas l'un ou l'autre site pour les activités prises en compte.

De plus, même s'ils sont importants, ces sites ne sont visiblement pas les seuls impliqués (chapitre 7), renforçant l'hypothèse selon laquelle la transmission est peu focalisée dans l'espace à Ampandratokana.

IV.2- Intensité du contact à l'eau

La question posée pour cette modalité est de savoir s'il existe un lien entre l'intensité du contact à l'eau et l'infestation.

Nous avons abordé la relation entre l'intensité du contact à l'eau et le parasitisme par *S. mansoni* pour deux activités ayant fait l'objet d'une analyse prenant en compte la fréquence des contacts et le niveau d'immersion : lessive et baignade. Nous avons utilisé pour cela les indices de fréquentation et d'immersion définis au chapitre 8, en les sommant afin d'obtenir pour chaque individu et chaque activité pratiquée un indice d'intensité du contact à l'eau.

Les individus ont été répartis en 4 groupes pour la baignade (indice variant de 0 à 7) et en 3 groupes pour la lessive (indice variant de 0 à 6). Les tableaux 10.3 et 10.4 donnent les prévalences et charges moyennes dans ces différents groupes.

Intensité du contact à l'eau	Examinés	Positifs	Prévalence	Charge
nul	3	2	60%	294
faible	20	16	85%	329
moyen	12	10	92%	213
fort	98	85	81%	314

Tableau 10.3 : Groupes d'intensité du contact à l'eau (nul : indice =0 ; faible : indice de 2 à 3 ; moyen : indice de 4 à 5 ; fort : indice de 6 à 7) et parasitisme par *S. mansoni* (prévalence et charge moyenne en œufs) pour l'activité baignade à Ampandratokana

Intensité du contact à l'eau	Examinés	Positifs	Prévalence	Charge
nul	152	121	80%	301
faible	64	55	86%	349
moyen	19	16	84%	178

Tableau 10.4 : Groupes d'intensité du contact à l'eau (nul : indice =0 ; faible : indice de 3 à 4 ; moyen : indice de 5 à 6) et parasitisme par *S. mansoni* (prévalence et charge en œufs) pour l'activité lessive à Ampandratokana

Les résultats ne permettent pas d'établir une corrélation satisfaisante entre l'intensité du contact et le parasitisme.

V- Niveaux d'infestation et relations à l'eau

Après avoir testé la relation géo-parasitologique à partir de la géographie, les résultats obtenus nous conduisent à aborder la relation géo-parasitologique à Ampandratokana dans l'autre sens, c'est-à-dire à partir de la parasitologie. Cela revient à chercher à savoir si les individus faiblement parasités ont des contacts à l'eau moindres que ceux qui sont fortement parasités. Les contacts à l'eau impliquent que l'on s'intéresse à la pratique des activités liées à l'eau et à la fréquentation des biotypes hydriques à risque.

Afin de simplifier l'analyse et d'essayer de dégager des tendances nous avons choisi de travailler à partir de classes de niveaux d'infestation basés sur les charges parasitaires.

V.1- Classes de niveaux d'infestation

Nous adoptons ici la terminologie de World Health Organization (WHO) qui établit dans la population scolaire différents niveaux d'infestation en fonction des charges parasitaires individuelles :

- les individus faiblement infestés : charge entre 1 et 100 opg;
- les individus moyennement infestés; charge entre 101 et 400 opg ;
- les individus fortement infestés ; charge supérieure à 400 opg.

Notons que cette terminologie est biaisée par le fait que nous l'appliquons à l'ensemble de la population (tous âges), mais ce biais nous semble peu important car les prévalences et les charges chez les individus d'âge scolaire sont généralement plus fortes que celles obtenues pour la population globale. Ainsi, on ne peut que sous-estimer les résultats.

A ces trois classes nous rajoutons une classe qui concerne les individus indemnes (absence d'œufs dans les selles).

V.2- Niveaux d'infestation et pratique des activités

La figure 10.1 illustre la relation entre le niveau d'infestation selon les classes définies ci-dessus et le taux de pratique des 6 activités majeures en lien avec l'eau (la pêche et la baignade n'ont pas été prises en compte car ce sont respectivement des activités marginale et commune).

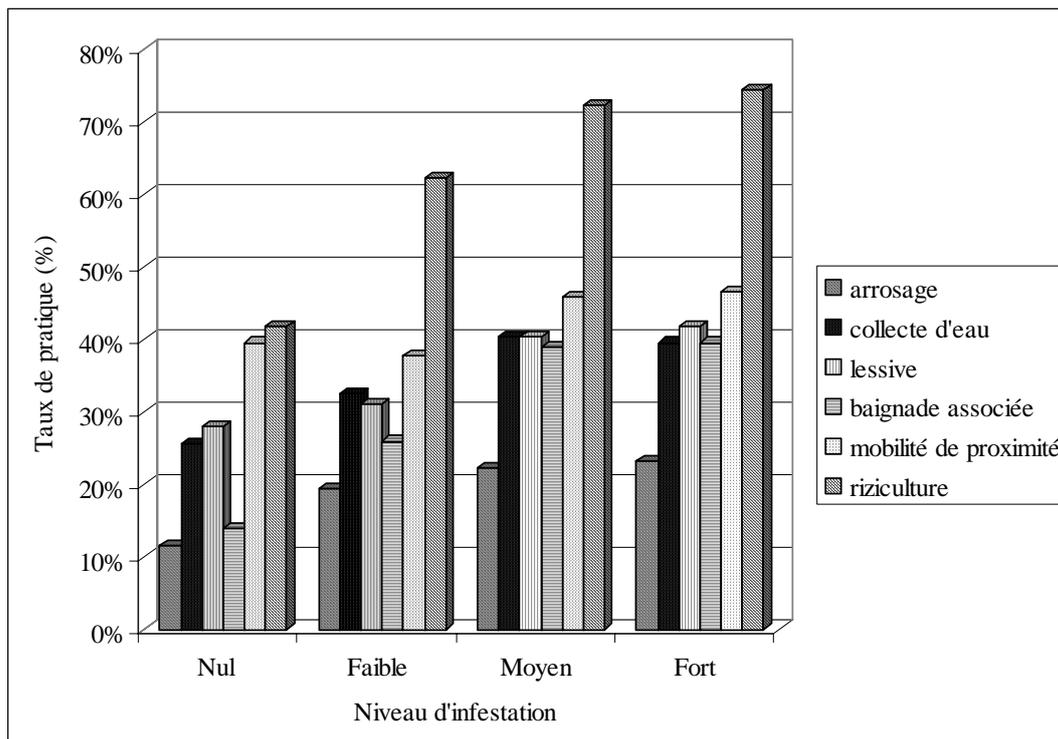


Figure 10.1 : Niveaux d'infestation et activités liées à l'eau à Ampandratokana
 (Niveau d'infestation nul: absence d'œufs ; faible : 1 à 100 œufs/g selles ; moyen : 101 à 400 opg; fort : >400 opg)

Pour toutes les activités liées à l'eau, une relation positive apparaît entre les niveaux d'infestation et les taux de pratique.

V.3- Niveaux d'infestation et fréquentation des biotypes

La figure 10.2 illustre la fréquentation relative des différents biotypes hydriques pris en considération dans l'indice d'exposition, en fonction du niveau d'infestation, toutes activités confondues.

Les pourcentages ont été calculés à partir des réponses cumulées par biotype fréquenté pour toutes les activités prises en compte (riziculture, baignade associée, pêche, lessive, baignade, mobilité de proximité, arrosage, collecte d'eau).

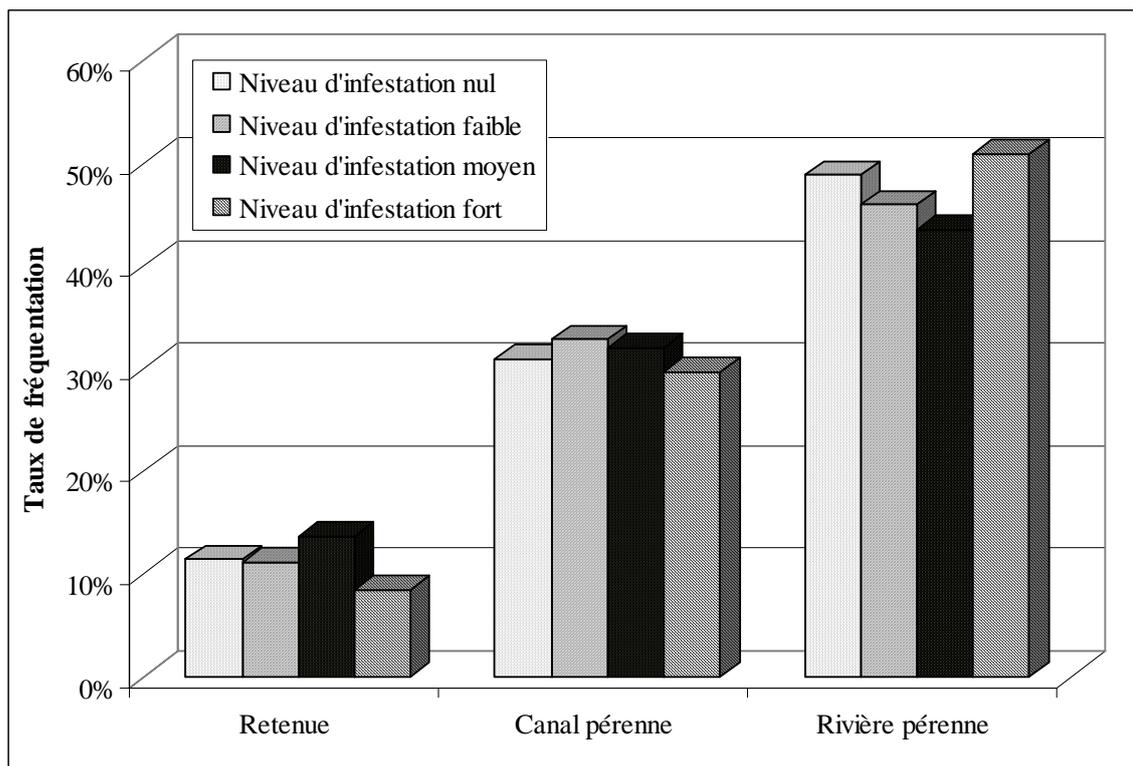


Figure 10.2 : Fréquentation relative des biotypes hydriques (toutes activités confondues) à Ampandratokana, selon le niveau d'infestation (nul: absence d'œufs ; faible : 1 à 100 œufs/g selles ; moyen : 101 à 400 opg ; fort : >400 opg)

La figure 10.2 montre qu'il n'y a pas de relation positive entre le taux de fréquentation d'un biotype hydrique et le niveau d'infestation.

Les études sur la relation entre d'une part les comportements et les activités des populations humaines et d'autre part la transmission des schistosomoses se sont multipliées ces vingt dernières années (Kloos *et al.*, 1983, 1998 ; Gazzinelli *et al.*, 2001 ; Bethony *et al.*, 2001), pour identifier les populations et les milieux hydriques à risque. Des travaux sur la détermination d'indicateurs d'exposition au risque ont été réalisés, soit par observation directe des milieux hydriques fréquentés (Kloos *et al.*, 1983; Fulford *et al.*, 1996) soit par questionnaires (Lima e Costa *et al.*, 1998) ou par enquêtes (Lara Massara *et al.*, 2004).

A Madagascar, deux études (Henry-Chartier, 2000 ; Grisorio, 2004) ont abordé ce thème de recherche mais uniquement pour la schistosomose uro-génitale.

Dans notre approche de la relation des activités liées à l'eau et des statuts parasitaires des populations, nous n'avons pas eu la prétention de déterminer un indicateur du risque bilharzien mais nous avons simplement tenter de voir s'il existait un lien entre les relations à l'eau, exprimés sous forme d'un indice d'exposition et les niveaux d'infestation.

Les enquêtes parasitologiques réalisées en 1998 et 1999 à Ampandratokana et à Kelivondraka montrent le contexte d'hyperendémicité (plus de 80%), qui rend difficile la mise en évidence de variations socio-démographiques, spatiales du lien entre les contacts homme-eau et les niveaux d'infestation. L'étude parasitologique globale de 1999 à Ampandratokana est la plus intéressante par rapport à notre approche car elle concerne 364 personnes, dont 285 ont été enquêtées sur le plan géographique. Elle montre que les enfants de moins de 5 ans sont moins touchés (en terme de prévalence et de charge parasitaire) que les jeunes (6-14 ans) et les adultes (15 ans et plus). Par ailleurs, le groupe des jeunes enregistre des prévalences et des charges parasitaires plus élevées que celui des adultes. Ces différences peuvent être théoriquement liées à des variations de fréquentation des milieux hydriques (les jeunes vont plus souvent se baigner que les adultes pour s'amuser) mais aussi à une immunité acquise au moment de l'adolescence et qui entraîne une diminution des prévalences et des charges parasitaires avec l'âge.

La mise en relation de l'exposition et du parasitisme à Ampandratokana est difficile à mettre en évidence à partir de l'analyse géographique (1) parce que les activités qui amènent à un contact à l'eau selon des modalités variées sont nombreuses (8 après regroupements) et les sites de transmission potentiels, correspondant à 3 biotypes à risque majeur (rivière pérenne, retenues, canaux pérennes) le sont encore plus ; (2) parce que l'exposition est complexe à apprécier précisément (fréquence et durée des contacts, période horaire (chronobiologie), niveau d'immersion (plus barrière cutanée)). L'enquête géographique elle-même peut souffrir d'imprécisions, d'incompréhensions, de réponses fausses.

La mise en relation de l'exposition et du parasitisme à Ampandratokana est tout aussi difficile à mettre en évidence à partir de l'analyse parasitologique (1) parce que la prévalence (qualitatif) est élevée (4 personnes infestées / 5, maladie "commune") et est peut-être imprécise, et (2) la charge (quantitatif) est très variable et peut être tout aussi imprécise.

Que la mise en relation exposition / infestation soit faite à l'échelle individuelle ou à l'échelle de groupes, elle repose sur deux postulats erronés selon lesquels (1) tous les individus sont égaux devant la maladie en terme de risque d'infestation ou de contamination ; l'immunité protectrice (Hagan, 1992, Gryseels, 1994 ; Fulford *et al.*, 1998) que les individus acquièrent avec l'âge (notamment à la puberté vers 16 ans) et qui engendre une diminution de la prévalence mais aussi de la charge parasitaire chez les individus adultes, montre le

contraire et (2) l'évaluation parasitologique rend compte des conséquences de comportements à risque dans un temps relativement récent ; le fait qu'un individu peut héberger le parasite depuis de longues années (la durée de vie du parasite peut aller jusqu'à 15-20 ans) et que son infestation ne reflète pas forcément sa relation à l'eau actuelle prouve le contraire.

Ces difficultés sont également liées à d'autres biais :

- des biais dans l'évaluation de l'endémie et de son interprétation, qui consiste à considérer un peu trop rapidement que « vers dans l'organisme = œufs détectés dans les selles », mais aussi qui consiste à négliger le décalage des échelles temporelles dans le développement de la maladie chez l'homme ;

- des biais dans l'étude des contacts homme-eau qui présentent des modalités multiples et qui n'ont pas forcément pu être pris en compte dans notre analyse ; l'analyse restrictive des relations à l'eau à l'échelle du terroir introduit également un biais, car les populations peuvent s'infester à l'occasion de leurs déplacements multiples.

La confrontation de notre approche avec la réalité épidémiologique met en évidence la complexité des facteurs entrant en jeu dans la transmission. L'absence de relation évidente entre le niveau d'infestation et les relations de l'homme à l'eau n'est pas si surprenante, au regard des multiples facteurs entrant en jeu dans la transmission de la schistosomose intestinale.

Plusieurs études ont déjà mis en évidence la relation entre les relations à l'eau et différents facteurs (âge, sexe...) mais l'absence ou la faible relation entre risque d'exposition et niveau d'infestation (Butterworth *et al.*, 1988 ; Scott *et al.*, 2003).

Mais malgré les difficultés de mise en relation de l'exposition et de la parasitologie tout indique que le haut niveau d'endémie à l'échelle du village d'Ampandratokana est la résultante d'une transmission intense à la fois focalisée sur quelques points majeurs et dispersée sur de multiples sites dans l'espace du terroir, fréquentés de façon intense pour des activités variées, au premier rang desquelles la baignade, qu'elle soit pratiquée en tant que telle ou en association avec des activités sans lien direct avec l'eau.

CONCLUSION GENERALE

La mise en place du Programme National de Lutte contre les Schistosomoses (PNLS) à Madagascar s'est faite en lien étroit avec des recherches biomédicales qui ont servi de base, pour la schistosomose intestinale, à l'initiation d'une approche éco-géographique de la transmission parasitaire dans la sous-préfecture d'Ihosy (sud des Hautes Terres), retenue comme zone-pilote. Notre contribution visait à renforcer la composante géographique de ces recherches, dans un cadre transdisciplinaire, en accordant la priorité aux facteurs bio-environnementaux et comportementaux conditionnant la dynamique de transmission, en vue d'une caractérisation des populations humaines et milieux hydriques à risque.

Dans la première partie, après avoir fait l'état des connaissances sur la répartition géographique, la taxonomie, la pathologie, le diagnostic et le contrôle des bilharzioses, nous avons considéré le cas précis de la schistosomose intestinale à Madagascar, en abordant le cycle parasitaire sous un angle géographique mettant en relief l'eau en tant que ressource et milieu de la transmission ; cette démarche nous a permis de nous replacer dans le contexte conceptuel d'une approche systémique du risque (chapitre 1). Nos recherches documentaires ont autorisé une présentation détaillée des principales caractéristiques environnementales (populations, milieu physique) de la sous-préfecture d'Ihosy, enrichie par une synthèse des résultats issus des enquêtes malacologiques, épidémiologiques et géographiques réalisées dans la région, ce qui nous a permis de mieux articuler notre approche (chapitre 2). Notre zone d'étude est caractérisée par trois ensembles géomorphologiques : la vallée d'Ihosy et la plaine de Ranotsara (ensembles comparables) contrastant avec plateau de l'Horombe. Les migrations successives ont profondément modifié le paysage socio-économique de cette région qui est aujourd'hui tournée vers la polyculture associée à l'élevage. Elle est marquée par l'abondance et la diversité des milieux hydriques potentiellement favorables à l'hôte intermédiaire du parasite et fortement touchée par la schistosomose intestinale, comme l'atteste la proportion élevée de villages hyperendémiques détectés.

Dans la deuxième partie, nous avons pu définir les principales caractéristiques géographiques (milieux hydriques, activités liées à l'eau les plus pertinentes au regard de la maladie, populations) de certains villages, représentatifs de chacun des trois ensembles

géomorphologiques, pour lesquels on dispose de connaissances récentes issues d'enquêtes malacologiques et parasitologiques (chapitre 3), et plus précisément de deux villages, Ampandratokana et Kelivondraka, retenus en vue d'études plus détaillées et dont la description des structures démographiques et des terroirs est développée (chapitre 4). La diversité des milieux hydriques a amené à établir une typologie des eaux selon qu'elles sont courantes ou calmes, naturelles ou anthropisées. Différents biotypes hydriques ont été définis (cours principal de rivière pérenne, cours principal de rivière temporaire, affluent pérenne, affluent temporaire, canal traditionnel pérenne, canal traditionnel temporaire, puisard, source aménagée, puits, parcelles rizicoles). La caractérisation des activités pratiquées par les populations de la région a permis de rendre compte de la diversité des relations à l'eau, selon leur lien direct (lessive, baignade, toilette, riziculture, pêche, cultures maraîchères et cultures sur *baiboho*) ou indirect (gardiennage du bétail, ramassage du bois, mobilité de proximité, mobilité éloignée). L'étude des caractéristiques socio-démographiques des deux villages retenus pour nos enquêtes détaillées met en évidence des tailles et dynamismes plus importants pour l'un (Ampandratokana) que pour l'autre (Kelivondraka), et montre dans les deux l'importance de l'immigration, se traduisant par un déséquilibre démographique en faveur des adultes (15 ans et plus) par rapport aux jeunes (6 à 14 ans) et aux enfants (0 à 5 ans). L'appartenance ethnique influence le niveau d'instruction, globalement plus élevé à Kelivondraka où des individus originaires des Hautes Terres sont plus nombreux qu'à Ampandratokana, peuplé à 87% d'*Antandroy* du Sud, moins instruits. En revanche, l'ethnie n'influence pas le taux de scolarisation, plus lié au sexe (à Ampandratokana les filles fréquentent moins l'école que les garçons en raison de leur implication plus forte dans les tâches ménagères). De l'étude des terroirs il ressort des occupations du sol très différentes dans chaque village avec des espaces herbacés représentés en proportion plus importante par rapport à la forêt et aux surfaces agricoles dans les villages et des rizières représentées en proportion plus importante à Ampandratokana qu'à Kelivondraka. A Ampandratokana, une polyculture plus développée est le reflet de conditions naturelles favorables (climat, terres, ressources en eau variées (deux petites rivières (Ivatriana et Ampasimaiky), canaux temporaires, canaux pérennes, source aménagée), du dynamisme des populations et de la proximité immédiate d'Ihosy. Cette image contraste avec le milieu naturel peu favorable, des ressources en eau moins diversifiées à Kelivondraka (rivière Bekinana, rivière Ihazofotsy, puisard, canaux peu nombreux) et l'insécurité importante qui a conduit les villageois à diminuer l'activité la plus adaptée à leur milieu, l'élevage.

Dans la troisième partie, nous avons considéré les facteurs climatiques majeurs que sont les températures et précipitations (chapitre 5) en faisant le lien avec les réponses hydrologiques générées par ces dernières (chapitre 6) et la distribution des mollusques hôtes intermédiaires dans le temps et l'espace (chapitre 7). L'étude climatique (précipitations et températures) a montré une saisonnalité marquée dans les deux villages avec une hausse des

températures et des cumuls pluviométriques d'octobre à avril et une saison sèche et fraîche de mai à septembre. Les températures dans l'air comme dans l'eau sont supérieures à Ampandratokana (situation d'abri) où des valeurs supérieures à 30°C sont fréquemment atteintes en saison humide, tandis que les températures sont plus basses, notamment en saison fraîche à Kelivondraka. Kelivondraka enregistre des précipitations plus importantes qu'Ampandratokana, en position d'abri immédiatement au pied du rebord de l'Horombe. L'étude hydrologique des bassins-versants d'Ivatriana (Ampandratokana) et de Bekinana (Kelivondraka) met en évidence une forte hétérogénéité de leurs caractéristiques morphométriques et physiographiques qui se font sentir sur les réponses hydrologiques exprimées en débit et vitesses, importantes au cœur de la saison des pluies et décalées d'un mois par rapport aux premières pluies. La vitesse maximale dans le champ de vitesses atteint le 25/12/01 une valeur maximale de 2,7 m/s pour la Bekinana et 0,7 m/s pour l'Ampasimaiky le 08/02/02, supérieures au seuil de 0,3 m/s au-delà duquel *Biomphalaria pfeifferi* a du mal à se maintenir. La mise en relation entre les facteurs hydro-climatiques et la variation temporelle des effectifs de mollusques en saison des pluies a permis de montrer une influence variable des différents facteurs dans les deux villages ; choc thermique puis crues à Ampandratokana, influence seule des crues générées par les pluies à Kelivondraka. Cette étude a donc mis en évidence l'importance d'aborder ces questions à une échelle locale. L'étude de la variation spatio-temporelle des effectifs de *B. pfeifferi* dans les deux villages a par ailleurs montré la présence permanente du mollusque dans les milieux hydriques (aucune extinction massive) avec des fluctuations temporelles dans le cours principal des rivières, contrastant avec une stabilité des effectifs dans des collections d'eau protégées (puisards, source de la rivière à Kelivondraka ; retenues, canaux et sections abritées dans les rivières à Ampandratokana) qui jouent le rôle de zones-refuges ou réservoirs. L'étude malacologique désigne aussi bien les biotypes qui peuvent être impropres à la transmission (puisard à Kelivondraka et source aménagée à Ampandratokana, car le contact à l'eau est limité et le milieu non souillé) que les biotypes à transmission potentielle (rivières, canaux, retenues (uniquement à Ampandratokana)).

Dans la quatrième partie, la relation a été étudiée entre des activités liées à l'eau (en prenant en compte les critères démographiques), selon leur niveau de pratique (chapitre 8) et les types de collections d'eau fréquentés (chapitre 9), et les niveaux d'infestation aux échelles individuelle et de groupes (chapitre 10). L'analyse des activités selon les facteurs socio-démographiques montre que celle d'accompagnement par les enfants âgés de 1 à 5 ans est plus marquée à Kelivondraka et liée à la baignade et la lessive. Pour les individus de 6 ans et plus, les niveaux de pratique des activités liées à l'eau varient en fonction du sexe et de l'âge. Les femmes sont plus concernées par l'arrosage, la lessive, la corvée d'eau tandis que les hommes sont plus mobilisés pour la mobilité éloignée dans les deux villages. L'influence de l'âge met en évidence, pour toutes les activités à Ampandratokana et pour 4 activités sur 7 à

Kelivondraka, un taux de pratique plus élevé pour les adultes que pour les jeunes. L'appartenance ethnique a peu d'influence sur la pratique des activités et la scolarisation n'en a aucune. La saisonnalité influence la pratique de la riziculture (une seule récolte à Kelivondraka en raison de conditions climatiques défavorables) et n'influence pas les autres activités liées à l'eau à Kelivondraka, tandis qu'à Ampandratokana la pêche est plus pratiquée en saison humide et la mobilité éloignée plus pratiquée en saison sèche. Les modalités des contacts (fréquence et immersion) pour deux activités (baignade et lessive) varient peu d'un village à l'autre. La relation entre les activités liées à l'eau et les biotypes hydriques fréquentés met en exergue l'opposition entre le caractère « multi-usages » de la rivière et la spécialisation plus ou moins marquée des autres biotypes (puisards à Kelivondraka, source et retenue à Ampandratokana) par rapport à certaines activités (collecte d'eau, baignade associée). Les activités à risque sont celles qui sont pratiquées de façon commune au niveau des biotypes à risque (rivières, canaux, retenues), à condition qu'elles impliquent un contact intense avec l'eau (la baignade (seule et associée), la mobilité de proximité, la lessive et la riziculture). La confrontation de la relation à l'eau et du statut parasitologique au niveau individuel comme au niveau de groupes d'individus pour le village d'Ampandratokana montre qu'il n'y pas de relation franche. La difficulté d'une mise en relation entre ces deux variables est mise en évidence aussi bien à partir de l'analyse géographique (activités liées à l'eau variées et sites de transmission potentiels multiples), qu'à partir de l'analyse parasitologique (prévalence élevée et peut-être imprécise (décalage dans le temps), immunité acquise). Cependant, tout semble indiquer que le haut niveau d'endémie à l'échelle du village d'Ampandratokana est la résultante d'une transmission intense à la fois focalisée sur quelques points majeurs et dispersée sur de multiples sites dans l'espace du terroir, fréquentés de façon intense pour des activités variées, au premier rang desquelles la baignade, qu'elle soit pratiquée en tant que telle ou en association avec des activités sans lien direct avec l'eau.

Les deux villages retenus dans notre étude, selon différents critères, sont peu représentatifs de la sous-préfecture d'Ihosalua aux plans humain et économique, mais la dynamique de la transmission décrite dans ces villages semble relativement caractéristique de la transmission à l'échelle de la sous-préfecture, car les milieux hydriques à risque de transmission (rivières, retenues, canaux pérennes et temporaires) y sont comparables (au vue des pré-enquêtes) et les activités à risque (baignade, riziculture, lessive...) probablement aussi.

La diversité des biotypes et activités à risque, les taux de pratique et les niveaux de fréquentation élevés, sans grande influence des saisons et des facteurs ethno-démographiques (secondaires), laissent présager un niveau d'endémie élevé, effectivement constaté. Dans un tel contexte d'hyperendémicité, il n'est pas étonnant que les enquêtes géographiques ne permettent pas de définir des groupes de populations à risque, d'autant que les évaluations géographiques, malacologiques et parasitologiques sont difficiles à mettre en relation

(spatialisation, échelles de temps, biais). Une dynamique de la transmission diffuse dans l'espace et variable dans le temps, mais sans réelle interruption à l'échelle du foyer, soulève la question de l'efficacité d'une stratégie de lutte reposant sur la chimiothérapie seule.

L'approche transdisciplinaire de la transmission de la schistosomose intestinale a été réalisée dans des contextes épidémiologiques, malacologiques et géographiques différents de l'approche transdisciplinaire développée par Grisorio (2004) selon la notion de risque sur le modèle *S. haematobium* (bilharziose uro-génitale) dans le Menabe (centre-Ouest de Madagascar). La comparaison des deux approches met en opposition des biotypes spécifiques (mares temporaires) et des activités spécifiques liées à ces biotypes (aléa et vulnérabilité bien définis) dans le Menabe, et des sites de transmission potentiels variés (biotypes ; canal, rivière, retenues...), fréquentés lors d'activités variés (aléa et vulnérabilité mal définis) dans notre région d'étude. Elle montre également la différence entre l'interruption de la transmission liée à l'assèchement des mares en saison sèche dans le Menabe, qui désigne une fenêtre idéale pour la chimiothérapie, et la transmission continue autour d'Ihosy, qui pose le problème des méthodes de contrôle.

L'approche "risque", bien que délicate, pourrait être développée de façon pertinente dans la région d'Ihosy si elle s'appuyait (1) sur un suivi des populations humaines après chimiothérapie de masse et reprise de la transmission (traitement et réévaluations parasitologiques tous les 1 ou 2 ans) et (2) sur un suivi des populations de *B. pfeifferi* en période de transmission avec un pas de temps réduit.

Son intérêt principal serait de désigner les milieux à risque dans l'optique d'une lutte anti-mollusques (par molluscicide), préventive (ciblée sur les sites refuges amont en saison des pluies) et/ou "curative" (réservoirs à haut niveau de fréquentation en saison sèche), destinée à casser le cycle parasitaire pour augmenter l'efficacité du traitement (réinfestations limitées). La «fenêtre» la plus favorable à cette lutte anti-mollusques pourrait se situer entre les premières pluies et les premières crues (lors des premières pluies, la hausse des températures entraîne déjà une chute des effectifs des mollusques hôtes intermédiaires).

Malgré tous les biais et imprécisions, l'approche transdisciplinaire reste pertinente et a l'avantage d'autoriser le couplage des informations géographiques (humaine) et parasitologiques à l'échelle de l'individu et le couplage des informations géographiques (physique) et malacologiques à l'échelle du terroir. Menées en bonne synchronisation, avec des pas de temps adaptés (et selon protocoles améliorés), de telles recherches doivent pouvoir contribuer encore à l'amélioration des connaissances en environnement-santé dans le domaine de la transmission des schistosomoses. Cette approche transdisciplinaire pourrait tout aussi bien s'appliquer à d'autres parasitoses, qu'il s'agisse de trématodoses touchant l'homme ou les animaux (douve du foie par exemple) ou encore de protozooses (paludisme) ou d'arboviroses (fièvre jaune, dengue) à transmission vectorielle. Ces maladies ont en effet en commun avec

les schistosomoses leur stricte dépendance vis-à-vis des milieux hydriques et l'intervention d'un hôte non humain (mollusque pour la douve, moustiques pour les arboviroses) dans le cycle. Répandues dans tout le monde tropical, ces maladies mettent en relief l'intérêt d'inclure, dans les programmes de recherche, une vision géographique autorisant un regard différent, plus systémique et globalisant, sur la dynamique de transmission.

BIBLIOGRAPHIE

AMAT-ROZE J.M., 1998 : Risques sanitaires et territoires à risque. Perception individuelle et perception collective, du groupe à l'Etat, *in* Le Voyage inachevé...sous la direction de Guillaud D., Seysset M., Walter A., Orstom Editions, pp. 543-550.

AMAT-ROZE J.M., 2004 : Les risques sanitaires *in* La géographie des risques dans le monde sous la direction de Wackermann G., Ellipses, pp. 321-352.

APPLETON C.C., 1975 : The influence of stream ecology on the distribution of the bilharzias hosts snails, *Biomphalaria pfeifferi* and *Bulinus (Physopsis) sp.* Annals of tropical Medicine and Parasitology, 69, pp. 241-255.

APPLETON C.C., 1977 a: The influence of temperature on the life-cycle and distribution of *Biomphalaria pfeifferi* (Krauss, 1948) in South-Eastern Africa. International Journal of Parasitology, 7(5), pp. 335-45.

APPLETON C.C., 1977 b : The influence of above-optimal constant temperatures on South African *Biomphalaria pfeifferi* (Krauss) (Mollusca: Planorbidae). Trans R Soc Trop Med Hyg., 71(2), pp. 140-143.

APPLETON C.C., 1978 : Review on the abiotic factors influencing the distribution and life cycles of bilharzias intermediate host snails. Malacological Review, 11, pp. 1-25.

APPLETON C.C. & ERRIKSON IM., 1984 : The influence of fluctuating above-optimal temperature regimes on the fecundity of *Biomphalaria pfeifferi* (Mollusca: Planorbidae). Trans R Soc Trop Med Hyg., 78(1), pp. 49-54.

BABIKER A., FENWICK A., DAFFALLA AA. & AMIN MA., 1985 : Focality and seasonality of *Schistosoma mansoni* transmission in the Gezira Irrigated Area, Sudan. Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 88(2), pp. 57-63.

BAGALWA M. & BALUKU B., 1997 : The distribution of freshwater molluscs the intermediate hosts of human schistosomes in Katan, south-Kivu. Médecine Tropicale, 57(4), pp. 369-72.

BALUKU B. & LOREAU M., 1989 : Etude comparative de la dynamique des populations de *Biomphalaria pfeifferi* (Gastropoda, Planorbidae) dans deux cours d'eau du Zaïre oriental: Revue de Zoologie Africaine, 103(3), pp. 311-325.

BAVIA ME, HALE LF, MALONE JB, BRAUD DH & SHANE SM., 1999 : Geographic information systems and the environmental risk of schistosomiasis in Bahia, Brazil. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, Apr, 60 (4), pp. 566-72.

BESAIRIE H., 1960 : Monographie géologique de Madagascar. Serv. Géologique Tananarive, 166 p.

BOUREE P., 1991 : Aide-mémoire de parasitologie et de pathologie tropicale. Flammarion, Médecine-Sciences, 388 p.

BREMOND P., RASAMY R.J., A RAFALIMANANTSOA A., RASATAVONJIZAY R., FORTMANN M., RANDRIAMBELO H.Z., GRISORIO E., RAHANITRINIONY F. & SELLIN B., 2002 : Développement des connaissances sur l'écologie de la transmission des schistosomoses de l'homme, rapport d'activités 2000, site <http://www.pasteur.mg/rapprec/cbilhb.html>.

BRILLET P., 1998 : Géographie de la schistosomose dans le sud du Maranaho (Etats Unis du Brésil). Thèse de Doctorat de Géographie, Université d'Angers, 657 p.

BRILLET P., 2000 : Esquisse d'une géographie de la schistosomose intestinale au Brésil. Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé . Volume 10, Numéro 2, pp.131-136.

BROWN D.S., 1994 : Freshwater snails of Africa and their medical importance. 2nd Edition, Taylor and Francis, 608 p.

BRUNET R., FERRAS R. & THERY H., 1992 : Les mots de la géographie. Editions Reclus - La Documentation française, 536 p.

BRYGOO E.R. & CAPRON A., 1959 : Rôle d'hôte intermédiaire de *Biomphalaria madagascariensis* Smith, 1882 dans le cycle de *Schistosoma mansoni* Sambon, 1907 à Madagascar. Démonstration dans le foyer d'Ambositra. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 52, pp. 281-283.

BRYGOO E.R., 1967 : La température et la répartition des bilharzioses humaines à Madagascar. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, n°5, pp. 433-441.

BUTTERWORTH AE., FULFORD AJ., DUNNE DW., OUMA JH. & STURROCK RF., 1988 : Longitudinal studies on human schistosomiasis. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci., 31; 321(1207), pp. 495-511.

CAPRON A. & BRYGOO E.R., 1959 : Contribution to the knowledge of intestinal bilharziosis due to *Schistosoma mansoni* in Madagascar. Study of the Ambositra focus. I. Malacological and parasitological investigation. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, n°52, pp. 502-513.

CHAPERON P., DANLOUX J. & FERRY L., 1993 : Fleuves et rivières de Madagascar. Orstom Editions, 874 p.

COMBES C. & JOURDANE J., 2003 : Taxonomie, écologie et évolution des métazoaires parasites. Taxonomy, ecology and evolution of metazoan parasites. (Livre hommage à Louis Euzet). Volumes 1 & 2. PUP Perpignan.

COULANGES P., 1977 (1978) : Les bilharzioses humaines à Madagascar, répartition géographique et prévalences. Archives Institut Pasteur de Madagascar, n° 46, vol. 1, pp. 273-395.

DE GRAAF D.A. & BAIN L.H., 1986 : Habitat use by and preferences of juvenile Atlantic salmon in two Newfoundland rivers. Trans Am Fish Soc 115: 671-681.

DE KOCK KN., WOLMARANS CT. & BORNMAN M., 2004 : Distribution and habitats of *Biomphalaria pfeifferi*, snail intermediate host of *Schistosoma mansoni*, in South Africa. WATER SA, vol. 30, n°1, pp. 29-36.

D'ERCOLE R., 1994 : Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. Revue de Géographie Alpine, n°4, Tome LXXXII, pp.87-96.

DI MEO G., 1998 : Géographie sociale et territoire. Collection FAC, Nathan, Paris, 317 p.

DIANOU D., PODA J.N., SAVADOGO L.G., SORGHO H., WANGO S.P. & SANDO B., 2004 : Parasitoses intestinales dans la zone du complexe hydroagricole du Sourou au

Burkina Faso. VertigO, La revue de sciences de l'environnement sur le WEB, vol. 5, n°2, pp. 3-10.

DONQUE G., 1975 : Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar. 477 p.

DOUMENGE J-P., MOTT K.E., CHEUNG C., VILLENAVE D., CHAPUIS O., PERRIN M.F. & REAUD-THOMAS G., 1987 : Atlas de la répartition mondiale des schistosomiasis / Atlas of the global distribution of schistosomiasis. CEGET, CNRS, OMS, P.U.B., Talence, 399 p.

DOUMENGE J-P. & REAUD-THOMAS G., 1988 : Les schistosomiasis humaines dans le monde. Les Cahiers d'Outre Mer, n° 162, pp. 147-169.

DROY I., DUBOIS JL., RASOLOFO P. & ANDRIANJAKA N.H., 2001 : Femmes et pauvreté en milieu rural : analyse des inégalités sexuées à partir des observatoires ruraux de Madagascar. Communication présentée au séminaire sur la pauvreté. 5-7 février 2001, Madagascar.

DUFOURNET R., 1972 : Régimes thermiques et pluviométriques des différents domaines climatiques de Madagascar. Revue de géographie. Madagascar, n°20, pp. 25-118.

ELLI L., 1993 : Une civilisation du bœuf : les Bara de Madagascar. Difficultés et perspectives d'une évangélisation. Fianarantsoa: Ambozontany, 223 p.

ERNOULD J-C., 1996 : Epidémiologie des schistosomoses humaines dans le delta du fleuve Sénégal. Phénomène récent de compétition entre *Schistosoma haematobium* Sambon, 1907 et *S. mansoni* (Bilharz, 1852). Thèse de Doctorat de parasitologie, Université Paris XII, 600 p.

FAUBLEE J., 1954 : La cohésion des sociétés Bara (Madagascar). P.U.F., 163 p.

FORTMANN M., BREMOND P., RASATAVONJISAY R., RAVAOALIMALALA V., RABARIJAONA L., MIGLIANI R., SELLIN B. & MIETTON M., 2001 : La schistosomose intestinale sur les Hautes Terres malgaches : rôle des réseaux hydrographiques naturels et anthropisés dans la dynamique de la transmission parasitaire. Communication orale au 3^{ème} Symposium International de l'Eau, Cannes 29-30-31 mai 2001.

FORTMANN M., BREMOND P., RAFALIMANANTSOA A. , RASATAVONJISAY R., SELLIN B. & MIETTON M., 2004 : Transmission dynamics of intestinal

schistosomiasis within small river basins of the southern central highlands on Madagascar : a new approach based on hydrological patterns related to fluctuations in snail populations. Communication, IX European Multicolloquium of Parasitology (EMOP IX), Sunday 18-Friday-23 July 2004, Valencia, Spain.

GENTILINI M., 1993 : Médecine tropicale. Flammarion Médecine-sciences, Paris, 422 p.

GIRARD G., 1918 : Sur l'existence à Madagascar de la dysenterie bilharzienne à *Schistosomum americanum ou mansoni*. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 11, pp. 34-36.

GRISORIO E. & SCHAFFNER R., 1999 : Apports des études hydrologiques à la connaissance de la transmission des bilharzioses à Madagascar. Mémoire de maîtrise de géographie physique, Faculté de Géographie, ULP Strasbourg, 127 p.

GRISORIO E., 2000 : Deux problématiques géographiques des schistosomoses à Madagascar : (1) La répartition de *Biomphalaria pfeifferi* (Krauss, 1848) dans un bassin versant des Hautes Terres. (2) La transmission de la schistosomose à *Schistosoma haematobium* dans le périmètre hydro-agricole de Dabara. Mémoire de DEA Systèmes Spatiaux et Environnement, Faculté de Géographie, ULP Strasbourg, 97 p.

GRISORIO E., 2004 : Approche écogéographique du système de transmission de la schistosomose urinaire de l'homme dans le Menabe (centre ouest de Madagascar). Thèse de doctorat de géographie, université Jean Moulin, Lyon 3, 2004, 232 p.

GRISORIO E., BREMOND P. & MIETTON M. 2005 : Les différentes dimensions du risque à l'interface environnement-santé. Approche éco-géographique d'une maladie hydrodépendante : la schistosomose uro-génitale à Madagascar. Revue Environnement Risques Sociétés. Wiley. Septembre–Octobre 2005. vol. 4, n°5, pp. 335-340.

GRJEBINE A. & MENACHE M., 1953 : Enquête malacologique et hydrobiologique sur les mollusques vecteurs de bilharziose dans le district d'Ambositra. Mémoire de l'Institut Scientifique de Madagascar, série A, tome VIII, pp. 67-110.

HANDSCHUMACHER P., HEBRARD G., FAYE O., DUPLANTIER J.M., DIAW O.T. & HERVE J.P., 1995 : Risques sanitaires et aménagements hydro-agricoles : un couple inséparable ? L'exemple du périmètre de Diomandou, In Nianga, Laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal sous la direction de BOIVIN P., DIA I.,

LERICOLLAIS A., POUSSIN J.C., SANTOIR C., SECK S.M., Coll. Colloques et Séminaires; Editions ORSTOM , Paris, pp. 117-131.

HANDSCHUMACHER P., TALLA I., HEBRARD G. & HERVE J-P., 1998 : D'une urgence en santé publique à une géographie de la santé à Richard-Toll. In Aménagements hydro-agricoles et santé (vallée du fleuve Sénégal), Collection Colloques et séminaires, Orstom Editions, pp. 33-51.

HANDSCHUMACHER P., LAFFLLY D. & HERVOUET J-P., 2003 : De l'écologie des maladies à la mise en évidence d'indicateurs de risque sanitaire. Pour une géographie appliquée à la santé publique en Afrique subsaharienne. *Historiens et Géographes*, n° 382, pp. 129-138.

HANDSCHUMACHER P. & HERVOUET J-P., 2004 : Des systèmes pathogènes à la santé publique : une nouvelle dimension pour la géographie tropicale. *Revue Autrepart*, Paris, 29 pp. 47-63.

HARRISON A.D., 1966 : The study of the biology of schistosome host snails. *The Central African Journal of Medicine*, 12, pp. 124-127.

HASLE G., 1928 : La bilharziose intestinale sur les Hauts Plateaux à Madagascar. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 21, pp. 380-382.

HENRY-CHARTIER C., 2000 : Au fil de l'eau...Espace et santé dans le Menabe central, contribution géographique à l'étude du risque bilharzien à Madagascar. Thèse de doctorat de géographie, Université de Paris I-Panthéon-Sorbonne, 370 p.

INSTAT, 1997 : Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 1993. Volume 2, 8 tomes.

JEANNE I., 2000 : Paludisme et schistosomose : deux exemples d'utilisation des systèmes d'information géographique et de la télédétection à Madagascar. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, n° 93, 3, pp. 208-214.

LARIVIERE M., 1993 : Epidémiologie des bilharzioses humaines. *Revue du Praticien*, 43, 4, pp. 417-423.

LENGELER C., MAKWALA J., NGIMBI D. & UTZINGER J., 2000 : Simple school questionnaires can map both *Schistosoma mansoni* and *Schistosoma haematobium* in the Democratic Republic of Congo, *Acta Tropica*, jan. 5, 74 (1), pp. 77-87.

LITALIEN F. & DESCHIENS F., 1954 : Effect of alkaline nitrates and nitrites on the behavior of mollusc vectors of bilharziasis. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique Filiales*, 47 (4), pp. 525-531.

LOCHERON P., RANDRIANARISOA J., HOUIN R., DENIAU F., RALANTONISAINANA D. & COULANGES P., 1981 : Etude d'un foyer récent de schistosomose intestinale – Lac Itasy (malacologie, épidémiologie, parasitologie). *Archives Institut Pasteur de Madagascar*, 48 (1), pp. 97-127.

MALEK E. A., 1958 : Factors conditioning the habitat of bilharziasis intermediate hosts of the family Planorbidae. *Bulletin World of Health Organisation*, 18, pp. 785-818.

MALONE JB., HUH OK., FEHLER DP., WILSON PA., WILENSKY DE., HOLMES RA. & ELMAGDOUB AI., 1994 : Temperature data from satellite imagery and the distribution of schistosomiasis in Egypt. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Jun ;50(6), pp. 714-22.

MALONE JB., YILMA JM., MC CARROLL JC., ERKO B., MUKARATIRWA S. & ZHOU X., 2001 : Satellite climatology and the environmental risk of *Schistosoma mansoni* in Ethiopia and east Africa. *Acta Tropica*, Apr 27, 79 (1), pp. 59-72.

MICHEL L., 1957 : Mœurs et coutumes des Bara. *Mémoire de l'Académie Malgache*, 40.

MICHEL P., 1969 : Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Thèse de Doctorat d'Etat. ULP Strasbourg, 1164 p.

MIETTON M., 1988 : Dynamique de l'interface lithosphère-atmosphère au Burkina Faso. L'érosion en zone de savane. Thèse d'Etat, Editec. Caen. 2 tomes. 522 p.

MONOGRAPHIE DE LA SOUS-PREFECTURE D'IHOSY, 2001.

MORAT P., 1969 a : Esquisse du milieu et de la végétation du plateau de l'Horombe. Généralités. *Cahier ORSTOM. Série Biologie* (8), pp. 3-27.

MORAT P., 1969 b : Esquisse du milieu et de la végétation du plateau de l'Horombe. Revue de géographie Madagascar, n°14, pp. 7-31.

MORAT P., 1973 : Les savanes du sud-ouest de Madagascar. Mémoires Orstom n°68. Orstom Paris, 235 p.

MOUCHET J & BRENGUES J., 1990 : Les interface agriculture-santé dans les domaines de l'épidémiologie des maladies à vecteurs et de la lutte antivectorielle. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 83, pp. 376-393.

NAJIB H.R., 2000 : Etude de la structure et du fonctionnement hydrologique du bassin versant karstique de la Doria (Massif des Bauges – Savoie). Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg 1, 273.

NICOLESCU B., 1996 : La transdisciplinarité - Manifeste. Editions du Rocher.

PETIT M., 1998 : Présentation physique de la Grande Ile, Madagascar. Ed. Institut géographique malgache (F.T.M), 192 p.

PFLUGER W., 1977 : Ecological studies in Madagascar of *Biomphalaria pfeifferi* intermediate host of *Schistosoma mansoni*. 2. Biology and dynamics in the non-endemic area of Antananarivo. Archives Institut Pasteur de Madagascar, 46, pp. 241-269.

PHILIPPE C., KANE A., HANDSCHUMACHER P. & MIETTON M., 1997 : Aménagements hydrauliques et gestion de l'environnement dans le delta du fleuve Sénégal (Axe Gorom-Lampsar-Sénégal) in Pratiques de gestion de l'environnement dans les pays tropicaux, sous la direction de Singaravélou, Espaces Tropicaux, pp. 389-401.

PICHERAL H., 1983 : Complexes et systèmes pathogènes : approche géographique in De l'épidémiologie. à la géographie. humaine. Table ronde "Tropiques et santé". Trav. et doc. de géographie tropicale, n°. 48. CEGET Bordeaux.

PICHERAL H., 1996 : Mots et concepts de la géographie de la santé (2nde édition). Montpellier : GEOS, 39 p.

PINCHEMEL P., 1994 : La face de la Terre, A. Colin, collection U Géographie, 517 p.

PNUD, Ministère de l'Economie et du Plan de Madagascar, 1991 : Régions et développement. Programmes régionaux et projets locaux. Faritany de Fianarantsoa : études régionales. 332 p.

PNUD, 2001 : Rapport sur la pauvreté et le développement humain. Province de Fianarantsoa. Programme MAG/97/008. 86 p.

QUESNE P., 1997 : L'hippocratisme comme matrice environnementale en géographie. In « Les discours du géographe » sous la direction de J.F. Staszak, éditions L'Harmattan, 281 p.

RABARIJAONA L.P, 1998 : Validation de l'emploi des méthodes de Lot Quality Assurance Sampling (LQAS) pour l'identification des communautés cibles du Programme National de Lutte contre la Bilharziose à Madagascar. Mémoire de DEA « Epidémiologie et intervention en Santé Publique », Université de Bordeaux II, 39 p.

RABARIJAONA L.P., BOISIER P., RAVAOALIMALALA V.E., JEANNE I., ROUX J.F., JUTAND M.A. & SALAMON R., 2003 : Lot quality assurance sampling for screening communities hyperendemic for *Schistosoma mansoni*. Tropical Medicine and International Health, vol. 8, n°4, pp. 322-328.

RAHANITRIONY F.G., 2001 : Rôles potentiels et réels du rat noir en tant qu'hôte réservoir de la bilharziose intestinale. Mémoire en vue de l'obtention du certificat d'aptitude de l'Ecole Normale Supérieure, Université d'Antananarivo, Ecole Normale Supérieure, 77 p.

RANAIVOARIVELO N., 2002 : Elevage bovin et exploitation d'un espace agropastoral dans le sud-ouest de Madagascar (région de Sakaraha). Thèse de doctorat en Géographie, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 259p.

RANDRIANASOLO BS., RABARIJAONA LP., RAVAOALIMALALA VA., RAVONIARIMBININA P. & MIGLIANI R., 2002 : Validation of questionnaire methods of identify *Schistosoma haematobium* bilharziasis hyperendemic zones in Madagascar, Archives Institut Pasteur Madagascar, 68 (1-2), pp. 59-62.

RASAMY R.J., 2000 : Rôle potentiel du rat noir en tant qu'hôte réservoir de la schistosomose intestinale de l'homme à Madagascar. Rapport d'activités, IRD, Madagascar, 9 p.

REMY G., 1985 : Le dialogue entre les maladies transmissibles et le milieu géographique. Cahiers GEOS, 4, pp.1-31.

ROCHE M., 1963 : Hydrologie de surface. Ed. Gauthier-Villars, Paris, 429 p.

ROSNAY de J., 1975 : Le microscope, vers une vision globale. Paris Seuil, 346 p.

ROUX J.F., RAVAOALIMALALA V.A., RAKOTO L., BOISIER P., ANDRIAMAHEFAZAFY B., RABESON D. & ESTERRE P., 1994 : Bases de réflexion et grandes lignes du programme national de lutte contre les bilharzioses à Madagascar. Archives Institut Pasteur de Madagascar, vol. 61 (1), pp. 58-61.

ROZE J-M., 1978 : Les bilharzioses humaines à Madagascar. Etude de géographie médicale. Bulletin de la section de géographie (C.T.H.S), n°83, pp. 95-105.

SALOMON J-N., 1987 : Le Sud-Ouest de Madagascar. Etude de géographie physique. Thèse d'Etat. Presse Universitaire de Bordeaux, 2 vol., 998 p.

SAUTTER G. & PELISSIER P., 1964 : Pour un atlas des terroirs africains : structure-type d'une étude de terroir. L'homme, vol. I, pp.55-72.

SCHUTTE C.H.J. & FRANK G.H., 1964 : Observations on the distribution of freshwater mollusca and chemistry of the natural waters in the south-eastern Transvaal and adjacent northern Swaziland. Bulletin World of Health Organisation, 30, pp. 389-400.

SCOTT JT., DIAKHATE M., VEREECKEN K., FALL A., DIOP M., LY A., DE CLERCQ D., DE VLAS SJ., BERKVENS D., KESTENS L. & GRYSEELS B., 2003 : Human water contacts patterns in *Schistosoma mansoni* epidemic foci in northern Senegal change according to age, sex and place of residence, but are not related to intensity of infection. Trop Medicine and International Health. 2003 Feb;8(2), pp.100-108.

SORRE M., 1943 : Les fondements biologiques de la géographie humaine, essai d'une écologie de l'homme. A. Colin, 435 p.

STANDEN O.D., 1951 : The effects of temperature, light and salinity upon the hatching of the ova of *Schistosoma mansoni*. Annals of Tropical Medicine and Hygiene, T. 60, pp. 100-105.

STURROCK R.F., 1965 : The influence of temperature, light and salinity upon the hatching of the ova of *Schistosoma mansoni*. Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg., vol. 45, n°2, pp. 225-241.

STURROCK R.F., 1966 : The influence of temperature on the biology of *Biomphalaria pfeifferi* (Krauss), an intermediate host of *Schistosoma mansoni*. Annals of Tropical Medicine and Parasitology, 60(1), pp.100-105.

STURROCK RF, DIAW OT, TALLA I, NIANG M, PIAU JP, CAPRON A., 2001 : Seasonality in the transmission of schistosomiasis and in populations of its snail intermediate hosts in and around a sugar irrigation scheme at Richard Toll, Senegal. Parasitology. 2001, 123 Suppl, pp. 77-89.

TALLA I., KONGS A., VERLE P., BELOT J., SARR S. & COLL A.M., 1990 : Outbreak of intestinal schistosomiasis in the Senegal River Basin. Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale, 70, pp. 173-180.

THERON A., 1985 : Le polymorphisme du rythme d'émission des cercaires de *Schistosoma mansoni* et ses relations avec l'écologie de la transmission du parasite. Vie, Milieu, 35 (1), pp. 23-31.

UTZINGER J., MAYOMBANA C., MEZ K., TANNER M., 1997 : Evaluation of chemical and physical-morphological factors as potential determinants of *Biomphalaria pfeifferi* (Krauss, 1848) distribution. Memorias do Instituto Oswaldo Cruz, May-Jun;92(3), pp. 323-328.

UTZINGER J. & TANNER M., 2000 : Microhabitat preferences of *Biomphalaria pfeifferi* and *Lymnaea natalensis* in a natural and a man-made habitat in southeastern Tanzania. Memorias do Instituto Oswaldo Cruz, 2000 May-Jun, 95(3), pp. 287-94.

UTZINGER J., N'GORAN EK., OSSEY YA., BOOTH M., TRAORE M., LOHOURIGNON KL., ALLANGBA A., AHIBA LA., TANNER M. & LENGELER C., 2000 : Rapid screening for *Schistosoma mansoni* in western Cote d'Ivoire using a simple school questionnaire, Bulletin WHO, 78 (3), pp. 389-98.

VAN DER WERF M.J. & DE VLAS S.J., 2001 : Morbidity and infection with schistosomes and soil-transmitted helminths. Rapport non publié.

VERCRUYSSSE J., SOUTHGATE VR., ROLLINSON D., DE CLERCQ D., SACKO M., DE BONT J. & MUNGOMBA LM., 1994 : Studies on transmission and schistosome interactions in Senegal, Mali and Zambia. *Tropical and Geographical Medicine*, 46(4), pp. 220-226.

VEYRET Y., 1999 : Géo-environnement, Sedes, 159 p.

VEYRET Y., 2004 : Les risques, Sedes, 252 p.

WATSON J.M., 1957 : The effect of water movement on population of *Bulinus truncatus*. *Journal of the Egyptian Medical Association*, 40, pp. 308-324.

WHO, 1957 : Groupe d'études sur l'écologie des mollusques hôtes intermédiaires de la bilharziose. OMS, Série de rapports techniques, n°120, 40 p.

WHO, 1993 : Lutte contre la schistosomiase : deuxième rapport de Comité d'experts, Genève, OMS, Série de rapports techniques, n°830.

WHO, 1998 : Rapport de la consultation informelle de l'OMS sur la lutte contre la schistosomiase. Genève, OMS, 65 p.

WHO, 2002 a : Disease burden and epidemiological trends : Schistosomiasis. TDR Strategic Direction for Research, 6 p.

WHO, 2002 b : Prevention and control of schistosomiasis and soil-transmitted helminthiasis, Geneva, 57 p.

WHO, 2004 : Schistosomiase et géohelminthiases : prévention et lutte. OMS, Série de rapports techniques, n°912, 68 p.

WILLIAMS N.V., 1970 : Studies on aquatic pulmonate snails in Central Africa. I. Field distribution in relation to water chemistry. *Malacologia*, 10, pp. 153-162.

WOOLHOUSE ME. & CHANDIWANA SK., 1989 : Spatial and temporal heterogeneity in the population dynamics of *Bulinus globosus* and *Biomphalaria pfeifferi* and in the epidemiology of their infection with schistosomes. *Parasitology*. 1989, (Pt 1), pp. 21-34.

ANNEXES

ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE D'ENQUETE SUR LES ACCES A L'EAU PAR MENAGE : REGION D'IHOSY

VILLAGE

CODE MENAGE :

I. Démographie

N°personne	Nom, Prénom, Surnom	Age	Sexe	Relation parenté	Lieu naissance	Si ≠ date arrivée dans village	Origine Ethnique

II. Scolarisation

N° personne	I.1 Niveau d'étude	I.2 Scolarisation	I.3 Scolarisation			I.4 Y-a-t-il 1 contact avec 1 point d'eau sur le trajet ? Où
			Classe	Lieu	Horaires d'école	

I.2. Scolarisé actuellement OUI : 1 NON : 2

I.1. Niveau d'étude Néant : 1
 Primaire : 2
 Secondaire : 3
 Supérieur : 4

III. Eau et Activités

A. Riziculture

A.1. Questions générales concernant le ménage

Pratiquez-vous la riziculture ? OUI NON

Nombre de récoltes /an

Lieux :

Mode d'alimentation des rizières

Source d'alimentation des rizières ; canaux creusés à partir de quelle rivière et où ?

Entretien du canal OUI NON si OUI à quelle période de l'année

quelle méthode (curage, désherbage) ?

Fonctionnement des canaux : mettez-vous à sec vos canaux une partie de l'année ? OUI NON

Si oui, à quelle période ?

Calendrier rizicole

J	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D

1 : hersage

2 : semis

3 : repiquage

4 : récolte

5 : entretien canaux

Questions posées aux différents membre du ménage (mettre une croix dans l'activité pratiquée)

N°personne	Hersage	semis	repiquage	récolte	Entretien canaux

B. Autres cultures

Pratiquez-vous d'autres cultures que le riz ?

Cultures sèches (maïs, arachide, bananes, manioc) OUI NON si OUI où

Cultures maraîchères OUI NON si OUI où (rivière Ivatriana, Ampasimaiky)

Cultures sur baiboho OUI NON si OUI où (rivière Ivatriana, Ampasimaiky)

Arrosez-vous ces cultures ? OUI NON

Qui les arrose ?

Où cherchez-vous l'eau ?

A quel moment de la journée arrosez-vous ?
 1. Avant 10 heures
 2 : Entre 10 et 16 heures
 3 : Après 16 heures

C. Elevage

1. Avez-vous des Zébus OUI NON
 Qui les gardent et où vont-ils?

Lieu de pâture en saison sèche, en saison humide
 Lieu d'abreuvement en saison sèche, en saison humide

Vous baignez-vous pendant le gardiennage ? si Oui où ? A quelle moment de la journée ?

D. Pêche OUI NON

Qui pratique la pêche ?

N° personne	Saison sèche				Saison humide			
	Lieux de pêche	Fréquence /jour, /semaine	Moment de la journée*	Méthode de pêche	Lieux de pêche	Fréquence /jour, /semaine	Moment de la journée	Méthode de pêche

*Moment de la journée : 1/ avant 10 heures
 2/ entre 10 et 16 heures
 3/ après 16 heures

Méthode de pêche : 1. Lamba
 2. Canne à pêche
 3. Harpon
 4. Epuisette ou filet

E. Autres activités

Bois de chauffe

N° personne	Saison sèche				Saison humide			
	Lieux de récolte	Fréquence /jour, /semaine	Moment de la journée*	Contact avec point d'eau (baignade) ?	Lieux de récolte	Fréquence /jour, /semaine	Moment de la journée*	Contact avec point d'eau (baignade)?

E.1) Contacts domestiques et récréatifs avec l'eau

Vaisselle, Corvée d'eau, Lessive

N° personne	Saison sèche				Saison humide			
	Où	Fréquence /jour, /semaine	Moment de la journée*	Avez-vous les pieds dans l'eau ? vous baignez vous après ?	Où et avec quelle eau	Fréquence /jour, /semaine	Moment de la journée*	Avez-vous les pieds dans l'eau ? vous baignez vous après ?

Utilisez-vous un savon ?

Hygiène corporelle : Toilette et baignade

N° personne	Saison sèche				Saison humide			
	Toilette corporelle				Toilette corporelle			
	Où, Comment	Quand	Fréq. /jours /mois	Vous immergez –vous dans l'eau ? 1. Jamais, 2. les pieds, 3. tout le corps	Où, Comment	Quand	Fréq. /jours /mois	Vous immergez –vous dans l'eau ? 1. Jamais, 2. les pieds, 3. tout le corps

Utilisez-vous un savon pour faire la toilette ?

E.2) Migrations et mobilité

Mobilité économique

N° personne	Saison sèche				Saison humide							
	Mobilité liée au travail				Marché à Ihosy		Mobilité liée au travail				Marché à Ihosy	
	Où	Moment journée	Fréq. /jours /sem.	Contact avec eau sur trajet ?	Fréq. /sem	Contact avec eau sur trajet ?	Où	Moment journée	Fréq. /jours /sem.	Contact avec eau sur trajet ?	Fréq. /sem	Contact avec eau sur trajet ?

Migrations

Allez-vous rendre visite à votre famille ?

Où ?

Y allez-vous tous ensemble ?

Vous baignez vous à cette occasion ?

Recevez-vous la visite de votre famille au village ?

D'où vient-elle ?

A quelle occasion vient-elle ?

Quelle est la durée de son séjour ?

ANNEXE 2 : Jaugeages mécaniques dans les bassins-versants d'Ivatriana et de Bekinana

<i>Date</i>	<i>Hauteur d'eau (m)</i>	<i>Largeur section (m)</i>	<i>Section mouillée (m²)</i>	<i>Périmètre mouillé (m)</i>	<i>Rayon hydraulique (m)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>U (m/s)</i>	<i>V m surf (m/s)</i>	<i>Rapport U/ Vms</i>	<i>V max (m/s)</i>
12/02/01	0,79	3,94	3,282	5,00	0,66	0,1744	0,0531	0,0483	1,100	0,0759
16/02/01	0,73	3,80	2,706	6,00	0,45	0,1037	0,0383	0,0332	1,155	0,0548
17/02/01	0,75	3,80	2,820	7,20	0,39	0,1380	0,0489	0,0302	1,619	0,0699
13/07/01	0,70	3,80	2,298	5,60	0,41	0,0752	0,0327	0,0256	1,278	0,0467
28/01/02	1,06	4,50	3,915	6,75	0,58	0,7690	0,1964	0,1849	1,062	0,2806
13/03/02	1,10	4,20	3,991	6,90	0,58	0,8286	0,2076	0,2820	0,736	0,2966

Annexe 2.1 : Caractéristiques des jaugeages mécaniques effectués près de la station hydrométrique de Bekinana (Kelivondraka)

<i>Date</i>	<i>Hauteur d'eau (m)</i>	<i>Largeur section (m)</i>	<i>Section mouillée (m²)</i>	<i>Périmètre mouillé (m)</i>	<i>Rayon hydraulique (m)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>U (m/s)</i>	<i>V surf (m/s)</i>	<i>Rapport U/ Vms</i>	<i>V max (m/s)</i>
14/02/01	0,56	3,46	0,946	4,00	0,24	0,0839	0,0887	0,0750	1,183	0,1268
16/02/01	0,53	3,2	0,731	4,05	0,18	0,0506	0,0692	0,0572	1,210	0,0989
13/07/01	0,51	3,1	0,561	3,60	0,16	0,0308	0,0549	0,0531	1,034	0,0784
22/11/01	0,5	3,1	0,689	3,70	0,19	0,0232	0,0337	0,0265	1,271	0,0481
08/12/01	0,52	2,8	0,753	3,70	0,20	0,0250	0,0332	0,0279	1,190	0,0474
24/12/01	0,54	3,2	0,767	3,80	0,20	0,0289	0,0377	0,0319	1,181	0,0538
26/12/01	0,6	3,5	0,943	4,20	0,22	0,0774	0,0821	0,0635	1,293	0,1173
28/12/01	0,605	3,5	1,061	4,10	0,26	0,0713	0,0672	0,0758	0,887	0,0960
02/01/02	0,645	3,5	1,18	4,30	0,27	0,1042	0,0883	0,0863	1,023	0,1262
08/02/02	1,385	7,4	5,311	11,00	0,48	1,7075	0,3215	0,3657	0,879	0,4593
27/02/02	1,08	6,8	5,493	9,50	0,58	0,9760	0,1777	0,2638	0,674	0,2538
19/03/02	1,06	6,5	4,625	10,00	0,46	0,7178	0,1552	0,1806	0,859	0,2217

Annexe 2.2 : Caractéristiques des jaugeages mécaniques effectués près de la station hydrométrique d'Ivatriana (Ampandratokana)

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Cycle évolutif de la schistosomose intestinale à <i>S. mansoni</i> chez l'homme (source:www.hepatoweb.com).....	22
Figure 4.1 : Distribution des groupes ethniques par village.....	85
Figure 4.2 : Distribution des niveaux d'instruction chez les individus de 6 ans et plus dans les deux villages.....	89
Figure 5.1 : Profils thermiques moyens bihoraires air/eau sur la période de mesure à Ampandratokana et Kelivondraka.....	106
Figure 5.2 : Evolution des températures minimales (Tn : 07-09 h) et maximales (Tx : 13-15 h) de l'air et de l'eau à Ampandratokana.....	107
Figure 5.3 : Températures minimales (Tn) et maximales (Tx) de l'air sur la période moyenne (1961-1990) à la station d'Ihosi.....	108
Figure 5.4 : Evolution des températures minimales (Tn : 07-09 h) et maximales (Tx : 13-15 h) de l'air et de l'eau à Kelivondraka.....	109
Figure 5.5 : Températures minimales (Tn : 07-09h) et maximales (Tx : 13-15h) de l'eau à Ampandratokana	111
Figure 5.6 : Températures minimales (Tn :07-09h) et maximales (Tx :13-15h) de l'eau à Kelivondraka.....	112
Figure 5.7 : Pluviométrie mensuelle à Ampandratokana et Kelivondraka comparée à la pluviométrie mensuelle moyenne (1961-1990) à Ihosi et Kelivondraka.....	119
Figure 5.8 : Nombre de jours de pluie mensuel (mars 2001- février 2002) à Ampandratokana et à Kelivondraka comparé au nombre de jours de pluie mensuels moyens à Ihosi et Kelivondraka (1961-1990).....	120
Figure 5.9 : Cumuls pluviométriques par « période saisonnière » à Ampandratokana et Kelivondraka.....	125
Figure 5.10 : Distribution des épisodes pluvieux par « période saisonnière » à Ampandratokana (Apd) et à Kelivondraka (Kel).....	129

Figure 5.11 : Variabilité des pluies dans l'espace (Distance 7,5 km) sur la période mars 2001-février 2002.....	132
Figure 6.1 : Courbe hypsométrique du bassin de la rivière Ampasimaiky.....	142
Figure 6.2 : Courbe hypsométrique du bassin de la rivière Ivatriana.....	142
Figure 6.3 : Courbe de tarage de la rivière Ivatriana (Ampandratokana).....	148
Figure 6.4 : Courbe de tarage de la rivière Bekinana (Kelivondraka).....	148
Figure 6.5 : Relation pluie-crue dans la vallée d'Ihosy le 30/01/02.....	155
Figure 6.6 : Relation pluie-crue dans la vallée d'Ihosy les 02 et 03/01/02.....	156
Figure 7.1 : Variation temporelle des effectifs horaires cumulés de <i>B. pfeifferi</i> par biotype et caractéristiques hydro-climatiques dans le bassin d'Ivatriana.....	182
Figure 7.2 : Variation temporelle des effectifs horaires cumulés de <i>B. pfeifferi</i> par biotype et des températures maximales (Tx) de l'eau dans le bassin d'Ampasimaiky	184
Figure 7.3 : Variation temporelle des effectifs horaires cumulés de <i>B. pfeifferi</i> par biotype et caractéristiques hydro-climatiques dans le bassin de Bekinana.....	186
Figure 8.1 : Taux de pratique des activités liées à l'eau (activités regroupées) des individus de 6 ans et plus dans les deux villages.....	196
Figure 8.2 : Saisonnalité des activités à Ampandratokana.....	202
Figure 8.3 : Saisonnalité des activités à Kelivondraka.....	203
Figure 9.1 : Distribution des activités sur les biotypes hydriques à Ampandratokana.....	212
Figure 9.2 : Distribution de l'arrosage et de la riziculture sur les biotypes hydriques à Kelivondraka.....	214
Figure 9.3 : Distribution de l'ensemble des activités sur les biotypes hydriques à Ampandratokana et à Kelivondraka.....	215
Figure 9.4 : Exploitation différentielle des biotypes hydriques à Ampandratokana.....	219
Figure 9.5 : Exploitation différentielle de la rivière à Kelivondraka.....	220
Figure 10.1 : Niveaux d'infestation et activités liées à l'eau à Ampandratokana.....	233
Figure 10.2 : Fréquentation relative des biotypes hydriques (toutes activités confondues) à Ampandratokana, selon le niveau d'infestation.....	234

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Précipitations moyennes (1961-1990) mensuelles et annuelles (en mm) de 3 stations météorologiques de la région d'Ihosy (Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar).....	42
Tableau 2.2 : Températures moyennes (1961-1990) mensuelles (en °C) de 2 stations de la région d'Ihosy (Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie de Madagascar).....	43
Tableau 2.3 : Débits moyens mensuels et annuel (m ³ /s) de la rivière Ihosy à la station Ihosy (22°23 S ; 46°07 E ; surface 1500 km ²) : période 1952-1976 (Chaperon et al., 1993).....	44
Tableau 2.4 : Estimation de la population dans la sous-préfecture d'Ihosy en 2001 (sources : Monographie du <i>fivondronana</i> d'Ihosy, 2001).....	49
Tableau 2.5 : : Prévalence et niveau d'endémie de la schistosomose intestinale (méthode MIF) chez les enfants âgés de 5 à 14 ans dans 26 écoles de la région d'Ihosy examinés entre avril et juin 1998.....	55
Tableau 3.1 : Caractéristiques malacologiques et épidémiologiques des villages pré-enquêtés	69
Tableau 4.1 : Effectifs des personnes recensées et enquêtées et taux de participation dans les deux villages.....	82
Tableau 4.2 : Effectifs et proportions des personnes enquêtées par sexe et âge, et sex-ratio, à Ampandratokana.....	79
Tableau 4.3 : Effectifs et proportions des personnes enquêtées par sexe et âge, et sex-ratio, à Kelivondraka.....	84
Tableau 4.4 : Effectifs des immigrés en fonction de la période d'installation, du village et de l'ethnie d'appartenance.....	86
Tableau 4.5 : Effectifs des jeunes scolarisés et non scolarisés en fonction du sexe et taux de scolarisation par village.....	88
Tableau 4.6 : Proportions des occupations du sol des terroirs des deux villages d'étude.....	99
Tableau 5.1 : Précipitations décennales (en mm) de mars 2001 à février 2002 pour les 2 stations pluviométriques	123

Tableau 5.2 : Caractéristiques des épisodes pluvieux aux stations pluviométriques de Kelivondraka et d’Ampandratokana (période mars 2001 à février 2002).....	127
Tableau 5.3 : Caractéristiques des épisodes pluvieux par période à Ampandratokana.....	128
Tableau 5.4 : Caractéristiques des épisodes pluvieux par période à Kelivondraka.....	128
Tableau 5.5 : Nombre et distributions des averses selon les hauteurs de pluies à Ampandratokana.....	123
Tableau 5.6 : Nombre et distributions des averses selon les hauteurs de pluies à Kelivondraka.....	130
Tableau 5.7 : Classement des cinq averses les plus agressives en fonction des intensité décroissantes pour chaque intervalle de temps compris entre 30 min et 12 h à Ankily.....	130
Tableau 6.1 : Principales caractéristiques morphométriques des 3 bassins fermés aux appareils de mesures.....	138
Tableau 6.2 : Hauteurs d’eau maximales enregistrées et jaugées sur les 2 bassins-versants..	147
Tableau 6.3 : Relations hauteur-vitesses des bassins d’Ivatriana et de Bekinana.....	149
Tableau 6.4 : Caractéristiques simplifiées des crues d’Ivatriana à la station hydrométrique de mars 2001 à février 2002.....	152
Tableau 6.5 : Caractéristiques simplifiées des crues de Bekinana à la station hydrométrique de mars 2001 à février 2002.....	153
Tableau 7.1 : Effectifs et distribution des stations prospectées dans les 3 bassins pour chacun des biotypes représentés	162
Tableau 7.2 : Occupation des biotypes par <i>B. pfeifferi</i> , par bassin et globalement	168
Tableau 7.3 : Effectifs horaires cumulés de <i>B. pfeifferi</i> par station à Kelivondraka (Bekinana).....	169
Tableau 7.4 : Effectifs horaires cumulés de <i>B. pfeifferi</i> par station à Ampandratokana (bassins Ivatriana et Ampasimaiky).....	170
Tableau 7.5 : Effectifs horaires cumulés moyens de <i>B. pfeifferi</i> (Ehc B.p) par biotype positif (cf. tableau 7.2) et distribution dans les 3 bassins	171

Tableau 8.1 : Typologie des activités présentées dans le questionnaire selon leur type, leur lien avec l'eau et le caractère obligatoire ou facultatif du contact à l'eau.....	192
Tableau 8.2 : Effectifs et taux de pratique de « l'accompagnement » des enfants (1-5 ans) selon les activités des individus accompagnés, par village.....	194
Tableau 8.3 : Effectifs et taux de pratique des activités liées à l'eau des individus de 6 ans et plus dans les deux villages.....	195
Tableau 8.4 : Taux de pratique par village selon le sexe.....	197
Tableau 8.5 : Taux de pratique selon l'âge (jeunes : 6-14 ans ; adultes : 15 ans et plus).....	198
Tableau 8.6 : Effectifs et taux de pratique des activités liées à l'eau selon l'ethnie à Ampandratokana (individus de 6 ans et plus).....	199
Tableau 8.7 : Effectifs et taux de pratique des activités liées à l'eau selon l'ethnie à Kelivondraka (individus de 6 ans et plus).....	200
Tableau 8.8 : Effectifs et taux de pratique chez les jeunes (6-14 ans) selon leur statut scolaire dans les deux villages.....	201
Tableau 9.1 : Distribution des activités sur les biotypes hydriques à Ampandratokana.....	211
Tableau 9.2 : Distribution des activités sur les biotypes hydriques à Kelivondraka.....	214
Tableau 9.3 : Distribution de la fréquentation associée à la riziculture sur les biotypes hydriques selon les périodes à Ampandratokana.....	216
Tableau 9.4 : Distribution de la baignade et la lessive sur les biotypes hydriques selon les saisons à Ampandratokana.....	217
Tableau 9.5 : Exploitation différentielle des biotypes hydriques à Ampandratokana.....	218
Tableau 9.6 : Exploitation différentielle des biotypes hydriques à Kelivondraka.....	212
Tableau 10.1 : Prévalences et charges moyennes en œufs estimées en 1999 pour la schistosomose intestinale à Ampandratokana, selon l'âge (enfants : 1 à 5 ans ; jeunes : 6 à 14 ans ; adultes : 15 ans et plus) et le sexe dans l'échantillon enquêté conjointement sur les plans géographique et parasitologique.....	225
Tableau 10.2 : Effectifs et distribution des enquêtés sur le plan géo-parasitologique en fonction de l'indice de risque.....	227

Tableau 10.3 : Groupes d'intensité du contact à l'eau (nul : indice =0 ; faible : indice de 2 à 3 ; moyen : indice de 4 à 5 ; fort : indice de 6 à 7) et parasitisme par *S. mansoni* (prévalence et charge moyenne en œufs) pour l'activité baignade à Ampandratokana.....231

Tableau 10.4 : Groupes d'intensité du contact à l'eau (nul : indice =0 ; faible : indice de 3 à 4 ; moyen : indice de 5 à 6) et parasitisme par *S. mansoni* (prévalence et charge en œufs) pour l'activité lessive à Ampandratokana.....231

LISTE DES CARTES

Carte 1.1 : Répartition des schistosomoses à Madagascar (d'après Doumenge *et al.*, 1987)...17

Carte 1.2 : SSD formés à la lutte contre la bilharziose à Madagascar de 1998 à 2002 (source : Laboratoire Central des Bilharzioses, Madagascar).....21

Carte 2.1 : Localisation et caractéristiques hydro-morphologiques de la sous-préfecture d'Ihosy.....37

Carte 2.2 : Carte de la région Bara (Elli, 1993).....48

Carte 2.3 : Localisation des villages étudiés sur les plans parasitologique et malacologique (schistosomose à *S. mansoni*) dans la sous-préfecture d'Ihosy.....57

Carte 3.1 : Localisation des villages pré-enquêtés sur le plan géographique dans la sous-préfecture d'Ihosy.....67

Carte 4.1 : Localisation et limites des terroirs des deux villages d'étude.....92

Carte 4.2 : Le terroir d'Ampandratokana en 2001.....93

Carte 4.3 : Le terroir de Kelivondraka en 2001.....97

Carte 5.1 : Emplacement des appareils de mesures pluviométrique et pluviographique à Ampandratokana et Ankily (vallée d'Ihosy) et à Kelivondraka (plateau de l'Horombe).....115

Carte 6.1 : Localisation des trois bassins-versants étudiés.....136

Carte 6.2 : Topographie et limite des bassins-versants des rivières Ivatriana et Ampasimaiky à Ampandratokana.....140

Carte 6.3 : Topographie et limite du bassin-versant de la rivière Bekinana à Kelivondraka..141

Carte 7.1 : Types et codes des stations de prospections malacologiques à Ampandratokana (Ivatriana et Ampasimaiky).....	163
Carte 7.2 : Types et codes des stations de prospections malacologiques à Kelivondraka (Bekinana).....	165
Carte 7.3 : Effectifs horaires cumulés de <i>B. pfeifferi</i> (période de mars 2001 à février 2002) par station à Ampandratokana.....	173
Carte 7.4 : Effectifs horaires cumulés de <i>B. pfeifferi</i> (période de mars 2001 à février 2002) par station à Kelivondraka.....	174
Carte 7.5 : Effectifs horaires cumulés saisonniers de <i>B. pfeifferi</i> par station en saison sèche 2001 à Ampandratokana.....	179
Carte 7.6 : Effectifs horaires cumulés saisonniers de <i>B. pfeifferi</i> par station en saison humide 2001-2002 à Ampandratokana.....	179
Carte 7.7 : Effectifs horaires cumulés saisonniers de <i>B. pfeifferi</i> par station en saison sèche 2001 à Kelivondraka.....	180
Carte 7.8 : Effectifs horaires cumulés saisonniers de <i>B. pfeifferi</i> par station en saison humide 2001-2002 à Kelivondraka.....	180

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1.1 : <i>B. pfeifferi</i> récoltés à Ampandratokana (vallée d'Ihosal, Madagascar) (cliché M. Fortmann, janvier 2001).....	25
Photo 2.1 : Vallée d'Ihosal et seuil de Bemandresy (photo prise vers le Nord) (cliché M. Fortmann, 2001).....	36
Photo 2.2 : Plateau de l'Horombe en saison sèche (cliché M. Fortmann, 2001).....	40
Photo 2.3 : Savane herbacée du plateau de l'Horombe (cliché M. Fortmann, 2001).....	45
Photo 6.1 : Vue sur le bassin-versant de la rivière Bekinana à Kelivondraka (orientation Est, cliché M. Fortmann, 2001).....	137
Photo 6.2 : Vue sur les bassins Ivatriana et Ampasimaiky à Ampandratokana (escarpement bordier du fossé d'Ihosal, orientation Ouest, cliché M. Fortmann, 2001).....	137

Photo 6.3 : Emplacement de la station hydrométrique sur la rivière Bekinana à Kelivondraka (22°25'43 S ; 46°01'09 E) (cliché M.Fortmann, 2001).....145

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire d'enquête sur les accès à l'eau par ménage : région d'Ihosy.....249

Annexe 2 : Jaugeages mécaniques dans les bassins-versants d'Ivatriana et de Bekinana.....252

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS.....	1
INTRODUCTION GENERALE.....	5
PARTIE I : CADRE DE L'ETUDE.....	9
CHAPITRE 1 : LA TRANSMISSION DES SCHISTOSOMOSES VUE SOUS L'ANGLE GEOGRAPHIQUE.....	11
I- Les schistosomoses, des parasitoses majeures.....	12
I.1- Répartition spatiale et taxonomie.....	12
I.2- Pathologie et diagnostic.....	13
I.3- Prévention et lutte.....	15
II- Les schistosomoses de l'homme à Madagascar.....	16
II.1- Répartition géographique et épidémiologie.....	16
II.1.1- Schistosomose intestinale.....	19
II.1.2- Schistosomose uro-génitale.....	19
II.2- Stratégies de contrôle (PNLS).....	19
III- La transmission de la schistosomose intestinale.....	22
III.1- Le cycle évolutif de <i>S. mansoni</i>	22
III.1.1- De l'homme au mollusque.....	23
III.1.2- Du mollusque à l'homme.....	23
III.2- L'eau, environnement de la transmission.....	24
III.2.1- L'eau, milieu du mollusque hôte intermédiaire.....	24
III.2.2- L'eau, milieu de la transmission parasitaire.....	27
III.2.3- L'eau, ressource pour les populations humaines.....	27
IV- L'intérêt d'une approche géographique de la transmission des schistosomoses.....	28
IV.1- Géographie médicale, géographie des maladies.....	29
IV.2- De l'approche géo-systémique à l'évaluation du risque de transmission.....	29
CHAPITRE 2 : LA SOUS-PREFECTURE D'IHOSY : CADRE GEOGRAPHIQUE ET ETAT DES CONNAISSANCES SUR LA SCHISTOSOMOSE INTESTINALE.....	35
I- Présentation du cadre géographique de l'étude : la sous-préfecture (fivondronana) d'Ihosy.....	36
I.1- Un milieu naturel ouvert.....	36
I.1.1- Contexte géomorphologique.....	39
I.1.1.1- Le plateau de l'Horombe.....	39

I.1.1.2-	La vallée d'Ihosy.....	40	
I.1.1.3-	La plaine de Ranotsara.....	41	
I.1.2-	Caractéristiques climatiques.....	41	
I.1.2.1-	Les précipitations.....	41	
I.1.2.2-	Les températures.....	43	
I.1.3-	Les cours d'eau.....	43	
I.1.3.1-	Un réseau hydrographique dense.....	43	
I.1.3.2-	Des régimes hydrologiques marqués.....	44	
I.1.4-	Un paysage végétal de savane.....	45	
I.2-	Un peuplement multi-ethnique.....	46	
I.2.1-	Historique.....	47	
I.2.1.1-	Le Pays <i>Bara</i>	47	
I.2.1.2-	Les flux migratoires récents.....	48	
I.2.2-	Situation démographique actuelle de la sous-préfecture d'Ihosy.....	49	
I.2.3-	Une économie pastorale en voie de diversification.....	50	
I.2.3.1-	L'élevage extensif : une activité à dimension économique mais aussi culturelle.....	50	
I.2.3.2-	Une diversification des activités agro-pastorales à l'origine d'une transformation du paysage.....	51	
I.3-	Accessibilité et équipements.....	52	
II-	Apports et limites des connaissances sur la schistosomose intestinale dans la sous-préfecture d'Ihosy.....	53	
II.1-	Les rares données avant 1995.....	53	
II.2-	Les connaissances récentes.....	53	
II.2.1-	L'approche épidémiologique.....	54	
II.2.2-	L'approche biologique.....	59	
II.2.3-	L'approche géographique.....	60	
II.3-	Une autre approche de la transmission de la schistosomose intestinale dans la sous-préfecture d'Ihosy.....	61	
II.3.1-	Les questions en suspens.....	61	
II.3.2-	L'intérêt d'une approche transdisciplinaire.....	61	
PARTIE	II :	POPULATIONS	ET
ENVIRONNEMENT.....			63

CHAPITRE 3 : ENQUETES GEOGRAPHIQUES PREALABLES ET SELECTION DES VILLAGES.....65

I-	Les enquêtes géographiques préalables.....	65
I.1-	Choix des villages enquêtés.....	65
I.1.1-	Critères de choix.....	65
I.1.2-	Sélection des huit villages.....	66
I.1.3-	Caractéristiques malacologiques et épidémiologiques.....	69
I.2-	Modalités des enquêtes géographiques.....	70
I.2.1-	Entretiens auprès des autorités villageoises.....	70
I.2.2-	Reconnaissance et cartographie.....	70
I.3-	Résultats des enquêtes géographiques préalables.....	71

II- Typologie des relations homme – eau.....	73
II.1.- Typologie des activités liées à l'eau.....	73
II.1.1- Activités directement liées à l'eau avec contact obligatoire.....	73
II.1.2- Activités directement liées à l'eau avec contact facultatif.....	74
II.1.3- Activités indirectement liées à l'eau avec contact facultatif.....	74
II.2- Typologie des milieux hydriques.....	75
II.2.1- Les eaux courantes.....	75
II.2.2- Les eaux calmes.....	76
III-Sélection des deux villages d'étude.....	76
III.1- Critères de sélection.....	77
III.2- Les villages retenus.....	77

CHAPITRE 4 : POPULATIONS ENQUETEES ET TERROIRS VILLAGEOIS.....79

I- Méthodologie de l'enquête.....	80
I.1- Recensement des populations villageoises.....	80
I.2- Questionnaire d'enquête.....	80
I.3- Déroulement des enquêtes.....	81
II- Effectifs villageois et taux de participation à l'enquête.....	81
III-Caractéristiques socio-démographiques des populations enquêtées..	82
III.1- Etude démographique.....	82
III.1.1- Structure par âge et sexe à Ampandratokana.....	83
III.1.2- Structure par âge et sexe à Kelivondraka.....	83
III.1.3- Comparaison des structures démographiques.....	84
III.2- Origines ethniques et dynamique de l'immigration.....	84
III.2.1- Une composition ethnique variée, résultat des flux migratoires.....	85
III.2.2- Les différentes phases d'immigration.....	86
III.3- Scolarisation et niveau d'instruction.....	88
III.3.1- Taux de scolarisation.....	88
III.3.2- Niveau d'instruction.....	89
IV-Les terroirs villageois.....	90
IV.1- Le terroir : un espace adapté à l'étude des contacts homme-eau.....	90
IV.1.1- Le terroir, espace de vie.....	90
IV.1.2- Outils de l'analyse spatiale.....	91
IV.2- Des terroirs villageois très différents.....	91
IV.2.1- Description du terroir d'Ampandratokana.....	92
IV.2.2- Description du terroir de Kelivondraka.....	95
IV.2.3- Comparaison des terroirs villageois.....	99

PARTIE III : IMPACT DES FACTEURS HYDRO-CLIMATIQUES SUR L'HOTE INTERMEDIAIRE DE S. MANSONI.....101

CHAPITRE 5 : LES FACTEURS CLIMATIQUES : TEMPERATURES ET PRECIPITATIONS.....103

I- Les températures.....	104
I.1- Profils thermiques dans les deux villages.....	104
I.1.1- Collecte et traitement des données.....	104
I.1.2- Profils thermiques comparés.....	105
I.1.2.1- Profils journaliers.....	106
I.1.2.2- Profils sur la période de mesures.....	106
I.2- Variations des températures de l'eau et comparaison avec les valeurs-seuils influençant <i>B. pfeifferi</i>	110
I.2.1- Profils thermiques dans l'eau.....	110
I.2.2- Températures minimales et maximales ponctuelles.....	112
II- Les précipitations.....	113
II.1- Collecte et traitement des données.....	113
II.1.1- Collecte des données.....	114
II.1.1.1- Données pluviométriques.....	117
II.1.1.2- Données pluviographiques.....	117
II.1.2- Traitement des données.....	118
II.1.2.1- Données pluviométriques.....	118
II.1.2.2- Données pluviographiques.....	118
II.2- Bilans pluviométriques dans les deux villages.....	118
II.2.1- Bilans annuels.....	118
II.2.2- Bilans mensuels.....	119
II.2.3- Bilans saisonniers.....	122
II.2.3.1- Délimitation des saisons.....	122
II.2.3.2- Variabilités inter-saisonnière.....	124
II.2.3.3- Variabilités intra-saisonnière.....	124
II.3- Caractéristiques des épisodes pluvieux.....	125
II.3.1- Présentation des données.....	126
II.3.2- Caractéristiques par période saisonnière.....	128
II.3.3- Une distribution spatiale des pluies hétérogène.....	131
II.4- Intensités instantanées maximales, intensités-durées.....	132

CHAPITRE 6 : BASSINS-VERSANTS ET FACTEURS HYDROLOGIQUES.....135

I- Caractéristiques morphométriques et physiographiques des bassins-versants.....	135
I.1- Caractéristiques morphométriques.....	138
I.2- Caractéristiques physiographiques.....	142
II- Le fonctionnement hydrologique des bassins-versants.....	144
II.1- Matériel : installation et méthodes.....	144
II.1.1- Les stations hydrométriques : lecture ou enregistrement des hauteurs d'eau.....	144
II.1.2- Les jaugeages : mesures de vitesses et de débits instantanés.....	146
II.1.3- Courbes de tarage : les débits et vitesses estimés.....	147
II.2- Variabilités des débits et des vitesses.....	149
II.2.1- Débits et vitesses en périodes d'étiages et de crues.....	150
II.2.2- Caractéristiques des crues et des vitesses et impact potentiel sur <i>B. pfeifferi</i>	151

CHAPITRE :7 : VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DES POPULATIONS DE *B. PFEIFFERI* SOUS LES CONTRAINTES HYDRO-CLIMATIQUES.....159

I- Enquêtes malacologiques et typologie des milieux hydriques prospectés.....160

- I.1- La collecte des données malacologiques.....160
- I.2- Diversité des biotopes aquatiques prospectés.....161

II- Analyse multi-échelles de la distribution spatiale de *B. pfeifferi*.....167

- II.1- Taux d'occupation des biotypes par *B. pfeifferi*.....167
- II.2- Effectifs de *B. pfeifferi* selon les biotypes.....169
- II.3- Distribution spatiale de *B. pfeifferi*.....171

III-Variation saisonnière des effectifs de *B. pfeifferi*.....176

IV-Influence des facteurs hydro-climatiques sur la variation temporelle des effectifs de *B. pfeifferi*.....181

- IV.1- Une influence complémentaire des facteurs hydro-climatiques dans le bassin d'Ivatriana.....181
- IV.2- Dynamique temporelle de *B. pfeifferi* dans le bassin Ampasimaiky.....184
- IV.3- Une nette influence des facteurs hydrologiques dans le bassin de Bekinana..185

PARTIE IV : RELATIONS DE L'HOMME AVEC LES MILIEUX HYDRIQUES ET STATUT PARASITOLOGIQUE DES POPULATIONS.....189

CHAPITRE 8 : DIVERSITE DES ACTIVITES LIEES A L'EAU.....191

I- Activités et liens avec l'eau.....192

- I.1- Typologie des activités dérivée du questionnaire.....192
- I.2- Typologie pour l'exploitation des données.....193

II- Cas des enfants de moins de 6 ans.....193

III-Activités liées à l'eau d'un village à l'autre.....195

IV-Activités liées à l'eau et socio-démographie.....197

- IV.1- Influence du sexe et de l'âge.....197
- IV.2- Influence de l'ethnie.....199
- IV.3- Influence de la scolarisation.....200

V- Influence de la saison.....201

- V.1.- Calendrier rizicole.....202
- V.2.- Autres activités et saisonnalité.....202

VI-Modalités du contact à l'eau.....203

- VI.1- Fréquence des contacts.....204
- VI.2- Niveau d'immersion.....205

CHAPITRE 9 : ACTIVITES ET MILIEUX HYDRIQUES.....209

I- Cas des enfants de moins de 6 ans.....210

II- Distribution des activités sur les biotypes.....210

II.1-	Activités et biotypes à Ampandratokana.....	210
II.2-	Activités et biotypes à Kelivondraka.....	213
II.3-	Comparaison intervillageoise.....	215
II.4-	Influence des saisons.....	216
II.4.1-	Calendrier rizicole et fréquentation des biotypes.....	216
II.4.2-	Baignade et lessive sur les biotypes d'une saison à l'autre.....	216
III-	Exploitation différentielle des biotypes.....	217
III.1-	Exploitation des biotypes à Ampandratokana.....	218
III.2-	Exploitation des biotypes à Kelivondraka.....	219
III.3-	Comparaison intervillageoise.....	220
CHAPITRE 10 :	RELATIONS A L'EAU ET NIVEAU	
D'INFESTATION PAR S. MANSONI.....		223
I-	La schistosomose intestinale dans les deux villages.....	224
I.1-	Enquêtes initiales d'évaluation.....	224
I.2-	Enquête complémentaire à Ampandratokana.....	224
II-	Echantillons géographique et parasitologique.....	225
III-	Exposition et infestation individuelles.....	226
III.1-	Indice individuel d'exposition.....	226
III.2-	Exposition individuelle et statut indemne / infesté.....	227
III.3-	Exposition individuelle et charge parasitaire.....	228
IV-	Comportements à risque et parasitisme.....	229
IV.1-	Fréquentation de biotopes à risque majeur.....	229
IV.2-	Intensité du contact à l'eau.....	230
V-	Niveaux d'infestation et relations à l'eau.....	231
V.1-	Classes de niveaux d'infestation.....	232
V.2-	Niveaux d'infestation et pratique des activités.....	232
V.3-	Niveaux d'infestation et fréquentation des biotypes.....	233
CONCLUSION GENERALE.....		237
BIBLIOGRAPHIE.....		243
ANNEXES.....		255
Liste des FIGURES.....		259
Liste des TABLEAUX.....		261
Liste des CARTES.....		264
Liste des PHOTOGRAPHIES.....		265
Liste des ANNEXES.....		266
TABLE DES MATIERES.....		267

Approche éco-géographique de l'environnement de la transmission de la schistosomose intestinale de l'Homme au sud des Hautes Terres de Madagascar

Mots-clés : Hautes Terres de Madagascar, schistosomose intestinale, *Schistosoma mansoni*, *Biomphalaria pfeifferi*, environnement-santé, transdisciplinarité, facteurs hydro-climatiques, bassins-versants, refuges, enquêtes, transmission.

Directeurs de thèse : Michel MIETTON et Philippe BREMOND

Membres du jury : Michel MIETTON, Philippe BREMOND, André THERON, Jean-Noël SALOMON et Pascal HANDSCUMACHER

Résumé :

La schistosomose intestinale est hyperendémique au sud des Hautes Terres malgaches (District d'Ihosy). Notre contribution géographique aux recherches transdisciplinaires sur cette parasitose eau-dépendante concerne trois bassins versants dans lesquels les facteurs hydro-climatiques (précipitations et crues, températures) affectent en saison des pluies le mollusque hôte intermédiaire *Biomphalaria pfeifferi*, sans provoquer d'extinction (refuges en amont des réseaux hydrographiques). Les enquêtes auprès des villageois montrent la diversité des activités liées à l'eau, directement (baignade, lessive) ou non (ramassage du bois, gardiennage du bétail), fréquemment pratiquées au contact de collections d'eau à risque majeur (rivières, retenues et canaux), ce qui donne à la transmission un caractère intense et diffus dans l'espace et selon la saison, se traduisant par un niveau d'infestation élevé chez les populations. Les résultats permettent des propositions pour une amélioration du contrôle.

Eco-geographical approach to the environment of the transmission of the human intestinal schistosomiasis in the south of the Central Highlands of Madagascar

Key words : Highlands of Madagascar, intestinal schistosomiasis, *Schistosoma mansoni*, *Biomphalaria pfeifferi*, environment-health, transdisciplinarity, hydro-climatic factors, basins, refuge-pools, surveys, transmission.

Directors of the thesis : Michel MIETTON et Philippe BREMOND

Members of jury : Michel MIETTON, Philippe BREMOND, André THERON, Jean-Noël SALOMON et Pascal HANDSCUMACHER

Abstract :

The intestinal schistosomiasis is hyperendemic in the south of the Malagasy Highlands (District of Ihosy). Our geographical contribution to transdisciplinary researches on this water-transmitted parasitosis relates to three basins in which the hydro-climatic factors (precipitations and floods, temperatures) affect during the rain season the intermediate mollusc host *Biomphalaria pfeifferi*, without causing extinction (refuge-pools upstream hydrographic networks). The surveys among the villagers show the diversity of the activities linked to water, directly (swimming, washing clothes) or not (wood collecting, cattle guarding), frequently practised in contact with water collections at major risk (rivers, dams and channels), which gives to the transmission an intense and diffuse character in space and according to the season, resulting in a high level of infestation in the populations. The results allow proposals for an improvement of control.