



Livrable 2 – Rapport d'études rétrospective de l'épidémiologie et de la lutte contre les schistosomiasés, de la mise en place des élevages et de la situation éco - hydrologique des sites de transmission

RÉSUMÉ

Ce présent document représente le rapport du second livrable de l'action. Il décrit les résultats (i) des activités d'élevage des mollusques, poissons et crevettes (ii) d'études malacologique, faunistique, floristique et limnologique des sites de transmission et (iii) d'enquêtes rétrospectives de la situation de la lutte contre les schistosomiasés

Présenté par :

Dr. Mariama SENE

Dr. Adrien COLY &

Pr. Farokh NIASS

Table des matières

1. Titre de l'action	0
2. Introduction	0
3. Description de l'action de recherche	1
4. Conditions de déroulement de l'action	2
4.1 Méthodologie.....	2
4.1.1 Méthode d'études rétrospectives de la situation épidémiologie et de la lutte.....	2
4.1.2 Méthode d'élevage des mollusques.....	2
4.1.3 Méthodes d'élevage des poissons et des crevettes.....	3
4.1.4 Méthode d'étude éco hydrologique.....	6
4.1.5 Essais de lutte biologique au laboratoire.....	6
4.2 Plan d'intervention de phase 2	9
4.2.1 Etudes des règles de gestion des systèmes hydrologiques	10
4.2.2 Etudes limnimétriques des systèmes hydrologiques.....	10
4.2.3 Caractérisation de la qualité de l'eau.....	10
4.2.4 Typologie des sites de contact.....	11
4.2.5 Réunion de coordination de la recherche.....	11
5. Description des résultats	11
5.1 Analyse rétrospective de l'épidémiologie et de la lutte contre les schistosomiasés	11
5.1.1 Evolution épidémiologiques des schistosomiasés.....	11
5.1.2 Analyse rétrospective de la lutte	15
5.2 Résultats études malacologiques et de la végétation.....	18
5.2.1 Analyse rétrospective des données malacologiques et la végétation.....	18
5.2.2 Espèces végétales retrouvées dans le Delta et la basse vallée	20
5.2.3 Résultats de l'élevage des mollusques au laboratoire	21
5.3 Résultats des enquêtes faunistiques	21
5.4 Résultats préliminaires des élevage de poissons et de crevettes.....	22
5.4.1 Reproduction et élevage larvaire de poisson.....	22
5.4.2 Reproduction et élevage larvaire de crevette.....	23
5.5 Description des résultats écohydrologiques	23
5.5.1 Système hydrographique.....	23
5.5.2 Etude écohydrologique	24
5.5.3 Etudes des règles de gestion.....	27
5.6 Résultats préliminaires des essais de lutte biologique	28



1. Titre de l'action

« Analyse situationnelle de la schistosomiase humaine dans le Bassin du Fleuve Sénégal en vue de l'élaboration des méthodes de lutte multisectorielles et intégrées pour le contrôle de la maladie »

2. Introduction

La Schistosomiase est une maladie parasitaire à transmission hydrique due à des parasites sanguins du genre *Schistosoma*. Elle a une importance médicale, vétérinaire et économique dans les régions tropicales et subtropicales.

La schistosomiase humaine est l'une des maladies parasitaires les plus répandues. Elle occupe la deuxième position du point de vue de la santé publique et sur le plan socioéconomique dans les régions tropicales et subtropicales, après le paludisme. Doumenge *et al.* (1987), classaient la schistosomiase, en tant que risque professionnel dans les zones rurales des pays en voie de développement, au premier rang en ce qui concerne la prévalence parmi les maladies à transmission hydrique. En effet, la schistosomiase touche plus particulièrement les populations d'agriculteurs et de pêcheurs. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), en 2011, (i) la schistosomiase est endémique dans 78 pays, (ii) au moins 243 millions de personnes souffrent de cette maladie dans le monde et (iii) 90 % des personnes parasitées habitent en Afrique. Il s'y ajoute que 600 à 779 millions (WHO 2012) de personnes vivant dans les pays d'endémie sont exposées à la maladie en raison de la pauvreté, de l'ignorance, de la médiocrité du logement, d'une mauvaise hygiène et de la rareté des installations sanitaires.

Au Sénégal, la schistosomiase se présente sous deux formes (intestinale et urogénitale) et affecte aussi bien l'Homme que les animaux domestiques et sauvages. Sa présence a été mentionnée depuis le début du 20^{ème} siècle dans les régions de Dakar, Diourbel, Sénégal Oriental, du Fleuve et de la Casamance avec une prédominance de la schistosomiase urogénitale due à *Schistosoma haematobium*. La zone d'extension de la schistosomiase intestinale due à *Schistosoma mansoni* se limitait aux zones soudano-guinéenne et soudano-sahélienne (Deschiens, 1951 ; Larivière *et al.*, 1958 ; Larivière *et al.*, 1960 ; Larivière *et al.*, 1964). Sellin et Boudin (1981) avaient, d'ailleurs, fixé la limite nord de la présence de la schistosomiase intestinale au 12^{ème} parallèle nord. Cependant, en 1988, deux ans après la mise en service des barrages de Diama et Manantali, nous avons assisté à une explosion du foyer de Richard-Toll situé au nord du 16^{ème} parallèle, dans la région du fleuve Sénégal. La construction

des barrages et l'aménagement des surfaces irriguées ont modifié le fonctionnement hydrologique du fleuve Sénégal et entraîné, dans le bassin du Fleuve Sénégal, des bouleversements écologiques favorisant la prolifération des mollusques, hôtes intermédiaires de schistosomes. Ces phénomènes se traduisent par une rapide expansion spatio-temporelle de la schistosomiase humaine dans le delta et la basse vallée du fleuve Sénégal.

Dans le BFS, la dynamique de transmission se complique davantage avec les complications cliniques observées chez l'Homme, les variations de profil épidémiologique, l'apparition d'hybrides interspécifiques entre *S. haematobium* (responsable de la schistosomiase urogénitale chez l'Homme) et *S. bovis* (schistosomiase intestinale chez les animaux domestiques) chez *Bulinus truncatus*, les humains et les rongeurs (Sène, 2013 ; Catalano *et al.*, 2018 ; Sène-Wade *et al.* 2018).

Face à cette situation alarmante, le praziquantel est le seul moyen de lutte contre la schistosomiase. Le traitement des malades et de masse des écoliers est privilégié. Et le Sénégal a bénéficié du praziquantel de la *Schistosomiasis Control Initiative Foundation* et de celui d'autres bailleurs pour lutter contre la maladie. Malgré la disponibilité du praziquantel et le fait que le Sénégal a atteint la barre des 75 % fixée par l'OMS en matière de chimiothérapie préventive chez les enfants d'âge scolaire, la question de la bilharziose reste encore posée. En effet, nous avons envisagé de faire une analyse situationnelle de la schistosomiase dans le bassin du fleuve Sénégal afin d'élaborer des stratégies de lutte multisectorielles et intégrées grâce à la modélisation mathématique et informatique des systèmes complexes. Dans le cadre de ce projet, nous allons donc :

- ☞ faire une analyse situationnelle et rétrospective de la lutte contre les schistosomiasés dans le Bassin du Fleuve Sénégal ;
- ☞ étudier la typologie des sites de contact Homme-eau et la qualité de l'eau ;
- ☞ étudier la distribution spatiale des populations de mollusques, hôtes intermédiaires, en relation avec les facteurs biotiques et abiotiques des sites ;
- ☞ étudier expérimentalement le rôle des poissons et crevettes dans la lutte contre la schistosomiase;
- ☞ intégrer les résultats de cette étude à l'ensemble des données que nous avons récolté depuis plus de 25 ans pour implémenter les modèles mathématique et informatique déjà conçus pour le contrôle de la maladie.

3. Description de l'action de recherche

L'objet de cette action est de (i) faire une analyse rétrospective de l'épidémiologie et de la situation de la lutte contre les schistosomiasés, (ii) de mettre en œuvre les activités d'élevage des mollusques, poissons et crevettes, (iii) d'étudier les aspects malacologiques, faunistiques, floristiques et limnologique des sites de transmission (iv) de faire une analyse d'ensemble de l'éco-hydrologie du delta et de la basse vallée.

Les questions abordées, au cours de cette action, concernent principalement :

- l'évolution épidémiologique de la maladie et les interactions entre les espèces humaines et animales de schistosomes
- les résultats de la lutte contre les schistosomiasés plus de 30 ans après le début de l'épidémie ;
- les facteurs éco hydrologiques pouvant influencer la transmission de la maladie (comportement de l'hydraulicité dans les différents sites, l'écoulement, l'utilisation des ressources en eau et les règles de gestion de l'eau)
- et la lutte biologique

4. Conditions de déroulement de l'action

4.1 Méthodologie

4.1.1 Méthode d'études rétrospectives de la situation épidémiologie et de la lutte

Nous avons, dans un premier temps, échangé avec le Coordonnateur du PNLB (Programme National de Lutte contre les Bilharzioses) au Ministère de la Santé et de l'Action Sociale (MSAS), et ses partenaires (OMVS, Enda tiers-monde, Ministère de l'Education nationale) sur les stratégies de lutte élaborées et actions déjà menées aux niveaux central et décentralisé (districts sanitaires et postes de santé). L'OMVS, Enda tiers-monde sont soumis à un questionnaire relatif à l'existence de projet ou programme de lutte contre les schistosomiasés et aux activités de lutte programmées, en cours d'exécution ou déjà menées.

Dans un second temps, les résultats des études antérieures de recherche et de lutte effectuées dans le Delta et la Basse Vallée sont analysés pour faire le bilan des connaissances et déterminer leurs impacts sur le contrôle de la transmission des schistosomiasés dans le Bassin du Fleuve Sénégal (BFS).

4.1.2 Méthode d'élevage des mollusques

Cinq espèces de mollusques (*Biomphalaria pfeifferi*, *Bulinus truncatus*, *Bulinus forskalii*, *Bulinus globosus* et *Limnea natalensis*), dont la taille varie entre 3 et 15 mm, ont été récoltées à Richard-Toll (sites villages Médina Cheikhou, Médina Baydi, Ndombo) et dans le Delta (sites villages Keur Makhtar et de Ndiawdoune). Elles sont, ensuite, transportées à la ferme de l'UFR S2ATA/UGB et mises en culture.

Dix individus de chaque espèce ont été placés dans des bacs rectangulaires, en plastique, de 40 cm de long, 25 cm de large et 20 cm de hauteur, à moitié remplis d'eau de robinet déchlorurée (vieillie au contact de l'air). Ils sont nourris avec de la salade bouillie, séchée et conservée dans un endroit sec. L'eau des bacs est changée une fois par semaine. Les œufs pondus dans les bacs seront laissés sur place jusqu'à éclosion. Lorsque les jeunes atteignent 5 mm de diamètre, ils sont transférés dans d'autres bacs où ils deviennent adultes.

4.1.3 Méthodes d'élevage des poissons et des crevettes

Deux espèces molluscivores ont été sélectionnées pour la lutte biologique contre les bilharzioses dans le Bassin du Fleuve Sénégal. Il s'agit du poisson cichlidé *Hemichromis bimaculatus* (Figure 1) et de la crevette d'eau douce *Macrobrachium vollehoveni* (Figure 2). Ces espèces ont été retenues non seulement à cause de leur mode et de leur régime alimentaire mais aussi du fait qu'elles font partie de la diversité biologique des plans et cours d'eau dans lesquels les bilharzioses sévissent dans le delta du fleuve Sénégal. En outre, le poisson *H. bimaculatus* n'est ni consommé ni commercialisé par les populations riveraines de ces milieux à cause de sa petite taille. De ce fait son utilisation pour la lutte dans les sites de transmission ne sera nullement menacée par les pêcheurs ou les populations riveraines.



Figure 1 : Spécimen de *Hemichromis bimaculatus* **Figure 2** : Spécimen de *Macrobrachium vollehoveni*

Elevage des poissons

Unité d'essai et de production

Trois bacs d'un m³ de capacité chacun ont été installés en parallèle selon un système de circuit fermé (Figure 3). Chaque bac dispose d'un filtre mécanique et biologique. L'ensemble du système est aéré par un compresseur d'air relié à des bulleurs. Pour la larviculture des poissons, six bassines de 100 litres de capacité ont été également disposées et oxygénées par le même compresseur.



Figure 3 : Dispositif de stockage des géniteurs de *H. bimaculatus*

Collecte, transport, acclimatation et stockage des géniteurs

Dans le canal du fleuve Sénégal à Ndiawdoune, 487 individus de *H. bimaculatus* dont 314 géniteurs (mâles et femelles) ont été collectés avec l'aide des pêcheurs locaux utilisant le filet épervier. Le poids moyen et la longueur moyenne des géniteurs capturés sont respectivement de $12,3 \pm 2,4$ g et de $8,5 \pm 1,2$ cm. Ils ont ensuite été transportés à la ferme d'application de l'UFR S2ATA, triés en fonction de leur taille, acclimatés et relâchés dans trois bacs d'un m³ chacun et munis de deux bulleurs connectés à un compresseur. Dans le premier bac, sont mis 109 individus ayant un poids moyen de 11,63 g et considérés comme le stock des géniteurs pour les essais de reproduction en captivité. Ensuite, 205 individus pesant en moyenne 7,23 g ont été mis dans le second bac et enfin 173 individus de poids moyen 5,57g dans le troisième bac. Ils sont nourris avec l'aliment industriel (Le Gouessant) deux fois par jour à raison de 8 % de leur poids corporel.

Suivi de reproduction et collecte des larves de poisson

Afin de suivre la reproduction et la ponte chez *H. bimaculatus* en captivité, une pêche de contrôle est organisée toutes les semaines tôt le matin entre 07 h et 09 h. Le sex-ratio a été de 1:1. La température moyenne des bacs est de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$ et le pH moyen $8,25 \pm 1,3$. La valeur du pH enregistrée n'était pas favorable à la reproduction de l'espèce qui se fait normalement à un pH légèrement acide. A cet effet, des traitements ont été effectués afin de ramener le pH à une valeur comprise entre 6 et 6,5 pour stimuler la reproduction du poisson. Pour se faire, de la tourbe et du vinaigre ont été utilisés en premier sans succès. Après traitement, le pH demeurait toujours élevé et de l'acide sulfurique fut utilisé dans

pour obtenir le pH idéal pour la reproduction. Ce dernier traitement semblait être efficace au bout de 14 heures d'usage en rendant le pH acide. Mais le constat est qu'après ce temps le pH remonte et dépasse même parfois les 8 dans certains bacs traités.

En outre la période de reproduction de l'espèce dans la nature correspond à la période des crues (Diouf et *al.*, 2016). On a commencé nos essais, juste à la fin de la période de crue. Ceci expliquerait l'absence de reproduction.

Elevage des crevettes

Unité d'essai et de production

Deux bacs de 1 m³ de capacité chacun ont été installés selon le même système que celui des poissons (Figure 4). L'ensemble du système est aéré par un compresseur d'air relié à des bulleurs.



Figure 4 : Dispositif de stockage des géniteurs de *M. vollehoveni*

Collecte, transport, acclimatation et stockage des géniteurs

Au niveau du barrage de Diama, dans le delta du fleuve Sénégal, 789 individus de *M. vollehoveni* ont été collectés avec l'aide des pêcheurs artisans et transportés au laboratoire dans la ferme d'application de l'UFR S2ATA en début de soirée. Le stock est constitué des individus de petites tailles (post larves), de tailles moyennes (juvéniles) et grandes tailles (adultes ou géniteurs). A la ferme, les individus ont été acclimatés et relâchés dans un bac d'un m³ de volume muni de deux bulleurs connectés à un compresseur d'air. Un support en forme échafaudage a été confectionné avec des tuyaux PVC et du grillage afin de permettre aux individus de s'y agripper et d'occuper la colonne de l'eau. Un aliment composé essentiellement de farine de poisson commercialisé par l'Agence Nationale de l'Aquaculture (ANA) a été utilisé pour nourrir les crevettes.

Suivi de reproduction et collecte des larves de crevette

Afin de suivre la reproduction et la ponte chez *M. vollehoveni*, une pêche de contrôle a été organisée toutes les 72 heures tôt le matin entre 07 h et 09 h. Le sex-ratio est de 1 male pour 2 femelles. La température moyenne est de $26 \pm 1^\circ\text{C}$ et le pH moyen $7,54 \pm 1$.

Dispositif d'élevage larvaire de poisson et de crevette

Compte tenu de la non disponibilité de l'aliment vivant (nauplii d'*Artemia*) et des coupures d'électricité fréquentes le dispositif d'élevage larvaire pour les larves de crevette n'est pas installé.

4.1.4 Méthode d'étude éco hydrologique

Pour l'étude des milieux aquatiques, il est nécessaire de pouvoir s'appuyer sur un jeu de paramètres minimums permettant d'en caractériser leur fonctionnement. Il s'agit de paramètres qui influent sur le développement de la vie, à la fois en structurant l'écosystème dans le temps (changements mesurables journallement et au rythme des saisons), et dans l'espace (biotopes bien différenciés).

Un **dispositif expérimental** en station fixe sera mis en place au niveau des sites choisis. Il comprendra une station climatique (mobile), une station limnimétrique (fixe) et une station de suivi de la qualité de l'eau pour les sites ciblés.

L'étude éco hydrologique concernera

- la reconnaissance des sites d'étude (enquête sur l'utilisation des points d'eau, identification des points d'eau échantillon, caractérisation éco-hydrologique des points d'eau),
- la cartographie thématique (sites sentinelles, ...),
- la limnimétrie, la caractérisation hydro-morphologique et climatique, l'hydrochimie (CE, pH, ...),
étude hydrodynamique en lien avec la gestion de l'eau (suivi hydrologique des unités hydrologiques, suivi de la gestion des ouvrages sur les axes, étude hydrodynamique, étude de l'impact de la gestion),
- modélisation des règles de gestion de l'eau intégrant la composante maladie

4.1.5 Essais de lutte biologique au laboratoire

Dans le cadre de la lutte biologique contre les bilharzioses dans le Bassin du Fleuve Sénégal, nous proposons de tester à la fois le poisson *Hemichromis bimaculatus* et la crevette *Macrobrachium vollehoveni*.

Plusieurs essais sont prévus et le protocole expérimental de chaque essai est ajusté en fonction des résultats obtenus lors de l'essai précédent.

Expérience 1 : Protocole expérimental de l'essai 1

Cet essai ne concerne que l'espèce de poisson *Hemichromis bimaculatus*. Au total 14 poissons dont la taille varie entre 8 et 9,3 cm et leur poids entre 9,29 g et 15,5 g sont répartis par deux dans sept (7) bacs (aquariums) (Figure 5). Ces derniers sont aérés par des aérateurs reliés à un compresseur. Trois types d'aliments (T1, T2 et T3) ont été formulés. Les aliments T1 sont composés d'aliment industriel et de 30 mollusques, ceux de type T2 uniquement de mollusques et les aliments T3 constituent l'aliment industriel habituellement utilisé. Les poissons des bacs B1, B3 et B4 sont nourris avec l'aliment industriel pour poissons plus mollusques. Les poissons des bacs B2, B6, B7 et ceux du bac B5 sont nourris respectivement avec des mollusques uniquement et exclusivement avec les aliments poisson.

Les poissons sont régulièrement alimentés le matin. Après alimentation, le comportement des poissons est observé pour voir s'ils sont attirés par les aliments.

Toutes les deux heures, le nombre de mollusque restant (vivant ou mort) dans chaque bac est compté pour calculer la consommation en mollusque des poissons. L'expérience est répétée trois fois.

Expérience 1 : Protocole expérimental de l'essai 2

Le protocole de l'essai 1 a été légèrement modifié pour conduire l'essai 2. Le comptage du nombre de mollusques restants toutes les deux heures stressaient les poissons. En effet, les heures et la périodicité de comptage sont modifiées.

Au cours de cet essai 2, le nombre de mollusque restant (vivant ou mort) dans chaque bac est compté matin et soir respectivement à 8h et à 17h.

Expérience 2 : Protocole expérimental de l'essai 2

Pour cette seconde phase d'expérimentation, nous avons utilisé l'espèce poisson *Hemichromis bimaculatus* et l'espèce crevette *Macrobrachium vollehoveni*. Ainsi, l'expérience a nécessité 14 poissons et 14 crevettes dont les tailles varient respectivement de 8,5 à 10 cm et de 7,80 à 10,20 cm avec des poids allant de 11,26 à 19,66 g pour les poissons et de 7,77 à 15,60 g pour les crevettes. Les poissons et les crevettes sont groupés par deux dans 14 aquariums. Ces derniers sont aérés par des aérateurs reliés à un compresseur. Trois types d'aliments (T1, T2 et T3) ont été formulés.

Les aliments sont formulés de la même façon que lors des précédents essais de la première phase expérimentale.

Les crevettes des bacs B2, B4 et B14 sont nourries avec des mollusques seuls, de même que les poissons des bacs B5, B6 et B12. Ensuite les crevettes des bacs B3, B10 et B13 sont nourries avec de l'aliment industriel plus des mollusques ainsi que les poissons des bacs B1, B7 et B11. Enfin, les crevettes du bac B9 et les poissons du bac B8 sont nourris avec juste de l'aliment industriel. L'aliment poisson et les mollusques sont distribués après introduction des poissons et des crevettes dans les aquariums. L'aliment poisson est régulièrement distribué après chaque nettoyage des bacs. Le nettoyage des bacs se fait pratiquement tous les deux jours.

Quant aux mollusques, la quantité distribuée a été réajustée après une baisse considérable du nombre de mollusques contenu dans certains bacs.

Après alimentation, le comportement des poissons est observé pour voir s'ils sont attirés par les aliments.

Chaque matin (8 heure) et soir (17 heure), le nombre de mollusque restant (vivant ou mort) dans chaque bac est compté pour calculer la consommation en mollusque des poissons.



A



Figure 5 : Dispositif expérimental pour la lutte biologique

B

4.2 Plan d'intervention de phase 2

La phase 2 se fonde sur la démarche générale proposée en méthodologie. Différentes activités ont été réalisées :

- ☞ Analyse et synthèse des études antérieures sur l'épidémiologie, la transmission et la lutte contre les schistosomiasés ;
- ☞ Détermination des espèces de mollusques rencontrées dans le BFS et de celles qui sont impliquées dans la transmission des schistosomiasés ;
- ☞ Installation des laboratoires d'élevage de mollusques, poissons et crevettes et démarrage des productions ;
- ☞ Démarrage des essais de lutte biologique ;
- ☞ Mise en place d'un système d'information géographique pour l'étude des sites de contacts dans le delta du BFS
- ☞ L'information secondaire et spatiale a été mobilisée afin de produire un système d'information géographique à partir duquel une géo spatialisation des résultats est possible. Différentes bases de données ont été compilées pour produire une base de données propre au projet.
- ☞ Mobilisation des données éco hydrologiques
- ☞ L'information sur les milieux a été collectée à savoir les données limnimétriques et de qualité de l'eau. L'information disponible s'étend de 2016 à 2020 à la station de Gnith dans le lac de Guiers et est présentée pour les hauteurs d'eau de façon journalière et pour la qualité de l'eau les données ont été fournies sur le plan mensuel. Les données disponibles collectées par l'équipe sont également mobilisées. Le reste de l'information est fourni par la documentation. Les données sur le fleuve sont fournies par la DGPR.

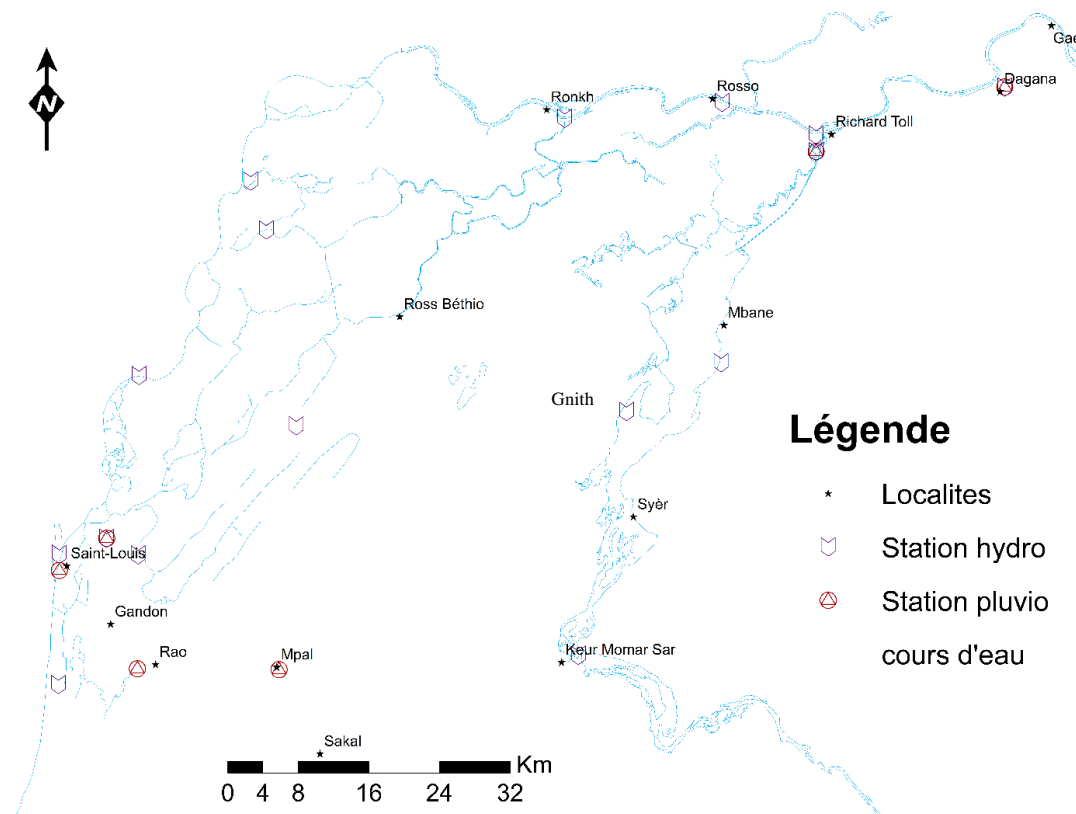


Figure 6 : Dispositif de suivi hydro climatique du delta du fleuve Sénégal

4.2.1 Etudes des règles de gestion des systèmes hydrologiques

L'information sur les règles de gestion a été obtenue uniquement sur le lac de Guiers avec les données compilées par l'office des lacs et cours d'eau (OLAC). L'information couvre la période 2016 à 2020 pour le pont barrage de Richard Toll.

4.2.2 Etudes limnimétriques des systèmes hydrologiques

L'étude limnimétriques se base à ce stade sur les paramètres statistiques classiques prenant en charge les extrêmes et les valeurs moyennes et offre une intelligibilité des systèmes de façon globale.

4.2.3 Caractérisation de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau concerne les données de conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), de turbidité (NTU), le potentiel hydrogène (pH), l'oxygène dissous (mg/l), l'ammonium (mg/l), le nitrate (mg/l), la chlorophylle a ($\mu\text{g}/\text{l}$) et la température ($^{\circ}\text{C}$). A ce stade le traitement porte sur les paramètres statistiques classiques maximum, minimum et moyenne.

4.2.4 Typologie des sites de contact

Une synthèse de l'information a été faite tenant compte de la configuration des sites et de l'usage permettant le contact eau homme. Les sites de contacts sont en général situés aux environs des villages ou hameau et concernent l'usage domestique, la pêche, le bétail, l'agriculture ou la mobilité (traversée en pirogue).

4.2.5 Réunion de coordination de la recherche

Différentes réunions virtuelles avec la coordinatrice, un atelier de travail avec l'expert poisson puis avec l'expert modélisation ont été réalisés afin d'affiner le processus de processus d'élaboration de l'information en direction des objectifs de l'étude.

5. Description des résultats

5.1 Analyse rétrospective de l'épidémiologie et de la lutte contre les schistosomiasés

Plus de 30 ans après l'apparition du premier cas, la question des schistosomiasés reste toujours posée à Richard-Toll. Les schistosomiasés sont des maladies à transmission hydrique qui ont connu une expansion géographique très importante, dans le Bassin du Fleuve Sénégal (BFS) suite aux aménagements hydro agricoles (construction des barrages antisel de Diama et hydroélectrique de Manatali ; aménagement de surface irriguées). Elles touche à la fois les humains et les animaux domestiques et sauvages et concernent plusieurs secteurs d'activités professionnels comme l'Agriculture au sens large (productions agricoles, élevage, pêche). En effet, l'analyse rétrospective de la situation épidémiologique et de la lutte intéresse les périodes d'avant et après barrage et retrace l'évolution de la maladie.

5.1.1 Evolution épidémiologiques des schistosomiasés

Situation épidémiologique avant les barrages

Au Sénégal, la présence de la schistosomiasé a été mentionnée depuis le début du 20^{ème} siècle avec une prédominance de la schistosomiasé urogénitale due à *Schistosoma hæmatobium*.

La schistosomiase urogénitale était rencontrée dans les régions de Dakar, Diourbel, Sénégal Oriental et Casamance. Elle était également très localisée dans la région du Fleuve Sénégal ; des cas ont été observés dans le Delta et à Guédé chantier (Moyenne Vallée). Aucun cas de schistosomiase urogénitale n'a été rencontré à Richard-Toll (Basse Vallée) pendant la période avant barrage.

La zone d'extension de la schistosomiase intestinale se limitait aux zones soudano-guinéenne et soudano-sahélienne. Deschiens (1951) mentionnait l'existence de foyers actifs en Haute Casamance, dans la Région de Kolda et en Basse Casamance dans les marigots et rizières du département de Bignona. Larivière *et al.* (1958) découvrent un foyer de schistosomiase intestinale dans quatre villages (Diohine, Niakhar, Ngaokhène et Toukar) du cercle de Fatick où règne un climat soudano-sahélien. Par la suite, le foyer de Fandène-Saint-Marcel situé à cinq kilomètres de la ville de Thiès fut découvert par Larivière *et al.* (1960). Larivière *et al.* (1964) confirment la permanence de foyers dans la région de Kolda dans les villages de Saré-Paté-Baïlo et de Marvata et localisent un nouveau foyer dans les villages de Salémata et de Gandjiri situés dans le département de Kédougou. La schistosomiase intestinale n'avait jamais été signalée dans la région nord du Sénégal. Sellin et Boudin (1981) avaient, d'ailleurs, fixé la limite nord de la présence de la schistosomiase intestinale au 12^{ème} parallèle nord.

Situation épidémiologique après les barrages

En janvier 1988, deux ans après la mise en service du barrage anti-sel de Diama, les premiers cas de schistosomiase intestinale humaine ont été observés de façon surprenante à Richard-Toll (Talla *et al.*, 1990).

L'épidémie de schistosomiase intestinale a connu, par la suite, une rapide expansion dans le delta et la basse vallée du fleuve Sénégal. A Richard-Toll, la prévalence est rapidement passée de 0,8 % pendant la période janvier-mars 1988 à 15,5 % pendant la période janvier-mars 1989 puis a atteint 71,5 % pendant la période octobre-décembre 1989. Une prévalence de 91 % avec des charges parasitaires très élevées de 646 œufs par gramme (epg) de selles ont été rapportées à Ndombo où 41 % de la population ont plus de 1000 epg.

La schistosomiase urogénitale a également connu une expansion et une intensification des foyers existants avec apparition de foyers mixtes de schistosomiasés intestinale et urogénitale dans le Delta et la Basse Vallée au niveau du lac de Guiers. (Gaye *et al.*, 1991 ; Verlé *et al.*, 1994 ; Ernould *et al.*, 1999 ; De Clerq *et al.*, 1999).

25 ans après l'apparition des premiers cas de schistosomiase intestinale à Richard-Toll, a été noté un changement de profil épidémiologique caractérisé par une :

- diminution importante puis réapparition des cas de schistosomiase intestinale (Prévalence 8 % observée chez les écoliers de la ville de Richard-Toll lors d'une enquête épidémiologique menée entre Avril et Mai 2014) ;
- apparition d'un nouveau foyer de schistosomiase urogénitale dans la commune de Richard-Toll avec une prévalence de 52 % chez les écoliers ;
- hybridation interspécifique entre *S. haematobium* (responsable de la schistosomiase urogénitale chez l'Homme) et *S. bovis* (schistosomiase intestinale chez les animaux domestiques) chez les humains à Richard-Toll (Sène, 2013 ; Sène-Wade *et al.* 2018).

Les enquêtes épidémiologiques effectuées, entre Avril 2016 et Mai 2017, dans la commune de Richard-Toll et les villages environnants, montrent qu'en moyenne 69,16 % des écoliers examinés excrètent des œufs de *Schistosoma haematobium* dans les urines. Les tests d'éclosion des œufs isolés à partir des urines montrent que 68,33 % des écoliers parasités ont des œufs viables c'est à dire capables de libérer des miracidia infestants pour les mollusques, hôtes intermédiaires de *S. haematobium* (Rapport préliminaire Projet ZELS, Sène 2017).

L'analyse globale des résultats épidémiologiques obtenus entre 2016 et 2018, toujours dans le cadre du programme ZELS confirme (i) l'apparition d'un foyer de schistosomiase urogénitale à *S. haematobium* (ii) la raréfaction des cas de schistosomiase intestinale et (iii) l'hybridation naturelle et l'introgression des gènes entre les espèces humaine (*S. haematobium*) et animale (*S. bovis*) de schistosome. Elsa *et al.* (2020) ont rapporté, dans Richard-Toll et le lac de Guiers, des prévalences de :

- 87 % en 2016 et 88 % en 2017–2018 de schistosomiase urogénitale chez les enfants ;
- 63 % en 2016 et 77 % en 2017–2018 d'hybrides à *S. haematobium/S. bovis* chez les enfants ;
- 79 % en 2016 et 41 % en 2017–2018 de schistosomiase urogénitale chez les adultes avec 88 % d'hybrides à *S. haematobium/S. bovis* chez les adultes.

L'introduction de la forme urogénitale humaine à RDT est facilitée par :

- le fait que la ville de Richard-Toll abrite la plus grande industrie agro-alimentaire du Sénégal qui attire des milliers de travailleurs saisonniers ;

- la localisation géographique de Richard-Toll (ville carrefour entre le Delta et la basse vallée) et
- les importants mouvements de population dans le bassin du fleuve Sénégal ;

L'hybridation et l'introgression entre *S. haematobium* et *S. bovis* observées dans le Delta, dans les villages proches du Lac de Guiers (Nder, Mbane et Thieckene) et à Richard-Toll s'expliquent par un effondrement des barrières spécifiques entre les schistosomes de l'Homme et ceux du bétail. Elles sont facilitées par le fait que les deux espèces de parasite ainsi que leurs hôtes sont sympatriques.

La schistosomiase chez les animaux domestiques et sauvages

L'expansion et l'intensification de la schistosomiase ont concerné non seulement l'homme mais également les animaux domestiques et sauvages (Rongeurs).

Chez les Rongeurs

En 1990, deux ans après l'explosion de l'épidémie de la schistosomiase intestinale, nous avons assisté à l'apparition, pour la première fois à Richard-Toll, de deux espèces de Rongeurs (*Arvicanthis niloticus* et *Mastomys huberti*) naturellement infestés par *Schistosoma mansoni* (Sène, 2016 ; Duplantier & Sène, 2000).

Les études expérimentales et de terrain effectuées chez les rongeurs de 1991 à 1994 ainsi si celle de la comparaison génétiques des souches humaine et murine de *Schistosoma mansoni* montrent clairement que les Rongeurs (*Arvicanthis niloticus* et *Mastomys huberti*) constituent des réservoirs potentiels de schistosomiase à Richard-Toll (Sène, 1996 ; Sène *et al.*, 1997 ; Duplantier & Sène, 2000). Des œufs de *Schistosoma bovis* et de *Schistosoma mansoni*, responsables de la schistosomiase intestinale respectivement chez le bétail et les humains, ont été isolés du foie d'un *M. huberti* ce qui montre une co-infestation des Rongeurs (Sène, 1994).

Le suivi effectué de Avril 2016 à Mai 2017, dans le cadre du projet ZELS (*Zoonosis Emerging Livestock System*), dans neuf localités du delta et de la basse vallée du Fleuve Sénégal montre la présence de rongeurs parasités par *S. mansoni*, *S. bovis* et par des hybrides *S. haematobium/S. bovis* (Catalano *et al.*, 2018). Ces résultats confirment les observations de Sène (1994) et suggèrent que le rôle des rongeurs sauvages en tant que réservoirs des espèces zoonotiques et hybrides de schistosomes ne doit pas être négligé lors de l'élaboration et de la mise en œuvre des programmes de lutte dans le Bassin du Fleuve Sénégal.

Toujours dans le cadre du projet ZELS (2015-2018), (Léger et al., 2020) montrent que les profils des cercaires émises par les bulins récoltés à Richard-Toll et au Lac de Guiers sont semblables à ceux des miracidia isolés des habitants de la même zone.

Il faudrait noter qu'au-delà du BFS, les schistosomiasés sont largement répandues au Sénégal. Selon le Ministère de la Santé et de l'Action Sociale du Sénégal (2018), les schistosomiasés urogénitale et intestinale sont endémiques dans 59 des 72 districts sanitaires étudiés avec des prévalences qui varient de 1 % à 96 %.

Chez les animaux domestiques

Les études effectuées dans le cadre du projet ZELS montrent des prévalences d'infestation de :

- 92 %, 14 % et 15 % respectivement chez les bovins, les ovins et les caprins à Richard-Toll et dans le Lac de Guiers ;
- 73 %, 84 % et 8 % respectivement chez les ovins, caprins et bovins à Barkedji et Linguère.

Aucun cas de cas d'hybridation entre les espèces *Schistosoma haematobium* et *S. bovis* n'a été observé chez les animaux domestiques

5.1.2 Analyse rétrospective de la lutte

Depuis l'apparition de la schistosomiase humaine à Richard-Toll en 1988, la principale méthode de lutte pour le contrôle de la maladie est la chimiothérapie avec le praziquantel. Ce médicament est utilisé, dans le cadre de traitements sélectifs ou de masse, par tous les programmes de recherche et le Ministère de la Santé et de l'Action Social du Sénégal et ses partenaires.

Pour lutter contre les schistosomiasés, la Direction de la Lutte contre la Maladie (DLM) sous le couvert de la Direction Générale de la Santé (DGS) et du Ministère de la Santé et de l'Action Sociale (MSAS) du Sénégal a défini, dans son plan stratégique de lutte intégrée contre les Maladies Tropicales Négligées (MTN) 2016-2020, son objectif général, ses quatre objectifs spécifiques, ses stratégies de lutte, ses groupes cibles et indicateurs de résultats.

Programme MTN	Objectif Général	Objectifs spécifiques	Stratégies	Cibles	Indicateurs de résultats
Programme National de Lutte contre les Schistosomias	Contrôler d'ici 2020, les schistosomias	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mettre en œuvre les campagnes DMM dans l'ensemble des districts endémiques ; 2. Déterminer interventions dans les districts traités 3. Déterminer la prévalence des complications liées aux schistosomias dans les zones de forte endémicité ; 4. Renforcer la surveillance dans les 17 districts de très faible prévalence à travers les enquêtes LQAS 	<ul style="list-style-type: none"> -Disponibilité permanente du praziquantel dans l'ensemble des structures sanitaires du pays ; -Traitement de masse par le praziquantel dans les zones endémiques ; -Traitement des malades au cas par cas au praziquantel au niveau des structures de santé du pays ; - Promotion de l'hygiène et de l'assainissement en collaboration avec les autres secteurs ; - Enquêtes de prévalence - IEC/CCC. 	<ul style="list-style-type: none"> - Enfants d'âge scolaire (5-14 ans) - Groupes à risque 	<ul style="list-style-type: none"> -Taux de couverture thérapeutique - Taux de couverture géographique

Tableau 1 : Objectifs, stratégies, cibles et indicateurs (Source : MSAS, 2016)

Le MSAS est soutenu, dans la mise en œuvre de ses stratégies de lutte par ses partenaires :

Le Projet de Gestion Intégré des Ressources en Eau (PGIRE) de l'OMVS appuie le PNLB dans le cadre de la sous composante « Réduction de l'incidence des maladies hydriques » de son axe 2 de développement «**développement des usages à buts multiples des ressources en eau**».

La composante santé du PGIRE, s'attelle à réduire l'effet des grandes infrastructures hydrauliques sur l'environnement. Ses principales interventions sont la distribution des moustiquaires, la distribution des médicaments contre les MTN (ceux à chimiothérapie préventive) et la conduite d'activités IEC/CCC, dans le bassin du fleuve Sénégal. Les schistosomias sont incluses dans le groupes des MTN (Maladies Tropicales Négligées). L'OMVS a financé la cartographie des MTN dans le bassin du fleuve Sénégal pour les quatre Etats, l'étude de base dans les sites sentinelles et s'apprête à financer une étude pour le suivi d'impact dans les sites sentinelles pour les schistosomias. A travers les Agences d'Exécution Communautaires (AEC) qui exécutent la plus grande partie du paquet d'activités, sont menées des enquêtes LQAS (Lot Quality Assurance Sampling) qui renseignent sur le niveau de connaissance des populations sur les signes, les modes

de transmission et de prévention des cinq maladies tropicales négligées et les niveaux de possession et d'utilisation des MILD (Moustiquaires imprégnées).

Enda Santé a développé un Plan de renforcement des activités IEC/CC dans le cadre de la mise en œuvre du Volet Santé du PGIRE/OMVS. Ce plan dure 5 ans (2016-2021) et intervient dans la recherche LQAS et dans l'organisation de la campagne DMM (Distribution de Masse de Médicaments) contre les MTN.

Le MSAS a, également, bénéficié d'un financement conséquent (1 219 565 510 francs CFA de 2011 à 2015) de la part des Partenaires Techniques et Financiers pour l'achat de Praziquantel.

Etat des connaissances sur la lutte biologique

Dans le cadre de la lutte biologique, des études ont été menées par divers auteurs (Sokolov, Lafferty & Kuris, 2014 ; Sokolov et al. 2015 ; Hoover et al., 2018 ; Hagerty et al. (2020) ;

Sokolov, Lafferty & Kuris. (2014) ont observé au laboratoire la capacité des deux espèces de crevettes *Macrobachium rosenbergii* et *M. vollehovenii* à réguler les populations de *Bulinus truncatus* et *Biomphalaria glabrata*, mollusques, hotes intermédiaires de schistosomias.

Sokolov *et al.* (2015) ont tenté une lutte biologique contre les schistosomias en introduisant des crevettes (espece) au niveau d'un site de transmission. Après introduction de la crevette, ils ont observé une diminution de la prévalence de 18 ± 5 % et des charges parasitaires de 50 ± 8 % par rapport au village témoin. En outre, Ils ont rapporté que l'abondance des mollusques infestés est diminuée de 80 % dans le village d'étude. Cependant, cette étude présente des limites qu'ils ont eux même évoquées dans la discussion des résultats à savoir :

- la non répliation de l'expérience due à une contrainte logistique
- l'absence de données sur l'abondance des mollusques avant l'intervention.

Hoover et al. (2018) ont, à travers un modèle mathématique intégré avec trois composantes (composante bioéconomique simulant les rendements et la croissance des espèces de *Macrobrachium*, composante épidémiologique et une composante prédation de la crevette) rapporté qu'une stratégie d'intervention intégrée utilisant à la fois un traitement de masse et un système d'aquaculture rentable de crevettes peut contrôler avec succès la schistosomiase tout en générant des profits.

Malgré les efforts consentis dans la lutte chimique avec l'utilisation du praziquantel, on assiste à une aggravation de la schistosomiase caractérisée par (i) une expansion spatio-temporelle de la maladie aussi bien chez les humains que chez les animaux domestiques et sauvages (ii) la manifestation de signes de morbidité graves chez les humains et les animaux domestiques et (iii) l'hybridation entre les espèces humaines et animales de schistosome et l'introgession des gènes. Cette assertion est fortement démontrée par l'analyse rétrospective de l'évolution épidémiologique et de la lutte. Il ressort alors de cette analyse que la chimiothérapie est une méthode de lutte nécessaire mais pas suffisante pour le contrôle de la maladie.

La lutte biologique initiée par certains auteurs mérite d'être approfondie pour une meilleure connaissance et disponibilité des candidats (Poissons, crevettes) pour le contrôle des schistosomias.

5.2 Résultats études malacologiques et de la végétation

5.2.1 Analyse rétrospective des données malacologiques et la végétation

Situation malacologique de Décembre 1997 à Décembre 1998

Le suivi malacologique effectué avait montré la présence de cinq espèces de bulins dans le bassin du fleuve Sénégal. Il s'agit de *Bulinus globosus*, *B. senegalensis*, *B. umbilicatus*, *B. forskalii* et *B. truncatus* (Sène, 2013).

B. truncatus est l'espèce la plus abondante et la plus répandue. Elle est rencontrée, pendant toute l'année, dans tout le bassin du Fleuve Sénégal (delta, basse vallée, moyenne vallée, haute vallée). Elle colonise différents types d'habitats (fleuve, marigot, canaux d'irrigation, lac, canaux de drainage).

Des *B. truncatus* naturellement infestés ont été récoltés dans la basse vallée à Gaya (Richard-Toll) et dans la moyenne vallée à Nguidjilone. Les cercaires de schistosome isolées de ces mollusques étaient des hybrides de *Schistosoma haematobium* et *Schistosoma bovis*

B. umbilicatus est seulement présent dans la moyenne vallée à Matam. Il vit dans des dépressions argileuses saisonnières (mares temporaires) en association avec *B. senegalensis* et des plantes aquatiques (**nénuphars, et algues**).

Des *B. umbilicatus* naturellement infestés avec *Schistosoma* sp. ont été récoltés à la fin de la saison pluvieuse à partir de novembre dans les mares temporaires.

B. senegalensis a été rencontré dans le delta (à Mbodiène), la basse vallée et la moyenne vallée (à Podor et à Matam). Dans la moyenne vallée, le nombre de *B. senegalensis* subit des variations saisonnières. Il a été trouvé dans les mares temporaires, les rizières, les canaux d'irrigation et de drainage pendant la saison des pluies et la saison sèche froide.

Des *B. senegalensis* naturellement infestés ont été récoltés dans les canaux d'irrigation secondaires à Kodit (moyenne vallée).

B. forskalii a été rencontré partout dans le bassin du fleuve Sénégal. Il colonise différents types d'habitats. Il a été récolté dans le delta et la basse vallée au niveau des canaux d'irrigation, rizières, lacs, marigots et fleuve, dans la moyenne vallée au niveau des canaux d'irrigation et de drainage.

B. globosus n'est présent que dans le delta et la basse vallée. Il colonise différents types d'habitats y compris les marigots, les canaux d'irrigation, le fleuve et le lac. Il est habituellement associé aux nénuphars qui lui servent de support et de nid de ponte.

Des *B. globosus* naturellement infestés ont été récoltés dans le canal d'irrigation et le marigot de Mbodiène (delta), ainsi qu'au niveau du Lac de Guiers à Nder. La prévalence de *B. globosus* naturellement infestés est en moyenne de 23,3 %. Elle avait atteint un pic de 66 % au mois de Juillet 1998. L'identification et la caractérisation des cercaires isolées des mollusques avaient que ces mollusques étaient par *Schistosoma haematobium* de souche pure.

Suivi malacologique entre Novembre 2015 et Avril 2018

Les prospections malacologiques effectuées, à Richard-Toll et au Lac de Guiers, pendant cette période nous ont permis de récolter 2532 *Bulinus truncatus* et *Bulinus globosus* dont 88 sont infestés soit une prévalence de 3,71 %. Certaines cercaires émises par ces bulins infestés appartiennent à espèces *S. haematobium* ou *S. bovis* ou sont des hybrides *S. haematobium/S. bovis*.

Quinze (15) des bulins infestés émettaient au moins deux espèces différentes de schistosomes ce qui signifie une co-infestation de ces bulins (Léger *et al.*, 2020).

La prévalence de *Biomphalaria pfeifferi* infestés est de 2,53 % (9/407).

Suivi malacologique entre Avril et Décembre 2019

Le suivi effectué pendant cette période à Richard-Toll et au Lac de Guiers confirme la présence de cinq espèces des bulins observées par Sène (2013). Des *Biomphalaria pfeifferi* et *Limnea natalensis* sont également récoltées.

5.2.2 Espèces végétales retrouvées dans le Delta et la basse vallée

Les visites de sites effectuées dans le Delta et à Richard-Toll montrent une diversité végétales au niveau des sites de transmission. Au moins 32 espèces végétales ont été répertoriées (Tableau 2). Les photos illustratives des espèces végétales sont annexées au présent document (Annexe 1)

Villages d'étude	Habitat	Espèces végétales
Ndombo Diop	Canal Taouey	<i>Polygonum senegalense</i>
		<i>Pistia stratiotes</i>
		<i>Ludwigia leptocarpa</i>
		<i>Polygonum senegalense</i>
		<i>Schoenoplectus jacobi</i>
		<i>Cyperus articulatus</i>
Sanenete	Lac de Guiers	<i>Ceratophyllum demersum</i>
		<i>Cyperus articulatus</i>
		<i>Ludwigia adscendens</i>
		<i>Azolla africana</i>
		<i>Nymphaea lotus</i>
		<i>Ludwigia leptocarpa</i>
		<i>Salvinia molesta</i>
		<i>Echinochloa stagnina</i>
		<i>Echinochloa stagnina</i>
		<i>Ipomoea asarifolia</i>
Keur Makhtar	Abords abreuvois	<i>Ludwigia adscendens</i>
		<i>Typha domingensis</i>
		<i>Cyperus difformis</i>
		<i>Achinochloa colona</i>
		<i>Cynodon dactylon</i>
Nguiguélakh	Canal d'irrigation	<i>Typha domingensis</i>
Lampsar	Fleuve Canal drainage	<i>Bolboschoenus maritimus</i>
		<i>Ludwigia leptocarpa</i>
		<i>Cyperus difformis</i>
		<i>Ipomoea asarifolia</i>
		<i>Oxycaryum cubense</i>
		<i>Azola Africana</i>
		<i>Neptunia oleraceae</i>
		<i>Nymphae lotus</i>
		<i>Typha domingensis</i>
		<i>Cynodon dactylon</i>
		<i>Ludwigia leptocarpa</i>

Tableau 2 : Espèces végétales rencontrées dans le Delta et la Basse Vallée

L'inégale répartition spécifique des bulins observée dans le bassin du Fleuve Sénégal pourrait être expliquée par les différences environnementales (type d'habitat, végétation, niveau d'eau du fleuve) observées entre la basse vallée et la moyenne vallée. Le delta et la basse vallée sont caractérisés par une diversité spécifique des bulins et une abondance de la végétation surtout au niveau des points d'eau. Les bulins y vivent souvent en association avec *Biomphalaria pfeifferi*, *Lymnea natalensis*, *Bellamya* sp. ou *Melanoides* sp. Cette diversité spécifique des mollusques est due à l'abondance de la végétation qui leur sert d'abri contre les rayons solaires et les courants d'eau, de sources d'aliments et de sites de pontes.

5.2.3 Résultats de l'élevage des mollusques au laboratoire

Les cinq espèces de mollusques d'eau douce (*Bulinus truncatus*, *Bulinus globosus*, *Bulinus forskalis*, *Biomphalaria pfeifferi* et *Lymnea natalensis*) mis en culture au niveau de la ferme de l'UFR S2ATA de l'UGB ont commencé à pondre des œufs à partir du 5^{ème} jour d'élevage pour les limnées et les bulins et à partir du 7^{ème} jour pour les spécimens de *Biomphalaria*.

Nous avons assisté à l'éclosion des œufs des limnées et à celle des espèces de bulins respectivement 19 et 21 jours après la mise en culture. Les résultats préliminaires sont résumés dans le tableau 3.

	<i>Espèces de mollusques</i>				
	<i>Lymnea natalensis</i>	<i>Biomphalaria pfeifferi</i>	<i>Bulinus truncatus</i>	<i>Bulinus globosus</i>	<i>Bulinus forskalii</i>
Nombre de mollusques géniteurs	10	8	10	10	10
Nombre de jours entre la mise en culture et le début des pontes (jours)	5	7	5	5	5
Nombre de jours entre le début des pontes et la date des premières éclosions des œufs (jours)	19	21	21	21	21

Tableau 3 : Résultats préliminaires de l'élevage des mollusques

5.3 Résultats des enquêtes faunistiques

L'inventaire de la faune halieutique du Bassin du Fleuve du Sénégal a été effectué, avant et après barrage, par divers auteurs comme **Reizer (1974)**, **Albaret (Novembre 1988 et Avril 1989)**, **Bouso (1997)**, **Aw (1997)** et **Diouf et al. (2015)**

Avant l'édification du barrage de Diama, les peuplements de poissons du Bas-Delta, du lac de Guiers et des cuvettes annexes étaient influencés par la crue inondant les zones humides annexes au fleuve Sénégal et par la remontée de l'eau salée, pendant la décrue en saison sèche. Selon Diouf *et al.* (1991), Albaret et Diouf (1994), Roche International (2000) et PNUD, (2014), trois peuplements de poissons (marins, estuariens et d'eau douce) se succédaient et colonisaient le Delta, le lac de Guiers et les cuvettes annexes.

Depuis la mise en eau du barrage de Diama, les espèces d'eau saumâtre et marine ainsi que les catadromes se rencontrent qu'en aval de Diama ; leur distribution s'est rétrécie. Les catadromes comme *Parachelon grandisquamis* sont des poissons d'eau douce qui migrent en mer ou dans l'estuaire pour se reproduire. Le même phénomène est observé chez la crevette d'eau douce *Macrobrachium vollehoveni*

5.4 Résultats préliminaires des élevage de poissons et de crevettes

5.4.1 Reproduction et élevage larvaire de poisson

Pour se rapprocher des conditions naturelles et permettre une meilleure adaptation des poissons aux conditions expérimentales, des couples de géniteurs sont prélevés des bacs d'élevage installés dans le laboratoire et transférés dans les bassins d'expérimentation de la ferme (Figure 7). Les pêches de contrôle effectuées, à la suite de ce transfert des géniteurs, nous ont permis d'observer le changement de couleurs des poissons, la formation des couples et la construction de nid à partir des déchets et autres matières mortes dans les bassins. Tous ces modifications morphologiques et éthologiques caractérisent l'entrée en reproduction



Figure 7 : Bassins d'essais de la ferme de l'UFR S2ATA

5.4.2 Reproduction et élevage larvaire de crevette

27 *Macrobrachium vollehoveni* femelles mises en culture ont pondu des œufs qui ont éclos. Ce qui montre la qualité des installations destinées à l'élevage des crevettes. Les larves de *M. vollehoveni* se nourrissent de larves nauplii d'*Artemia*. Ce dernier est un petit crustacé commercialisé sous forme de kystes. Parmi les nombreuses espèces d'*Artemia*, *Artemia franciscana* est la plus adaptée à la taille de la bouche de *M. vollehoveni*. *A. franciscana* est plus petite que *Artemia salina* (généralement utilisé) et ses larves nauplii pourraient facilement être ingérées par l'espèce de crevette étudiées. Cependant, les kystes de *A. franciscana* ne sont pas commercialisés au Sénégal. Son acquisition n'est pas facile dans le contexte actuel de pandémie. Pour remédier à sa non disponibilité, nous envisageons de cultiver des rotifères, zooplancton de taille appropriée pour la consommation des larves crevettes en élevage.

5.5 Description des résultats écohydrologiques

5.5.1 Système hydrographique

Le delta du fleuve Sénégal commence aux environs de la localité de Dagana. Les axes hydrographiques que sont le lac de Guiers, le Gorom, le Lampsar, le Djeuss, la réserve de Bango, le Ngalam, les trois marigots sont les principaux constituants du système hydrographique dans la partie sénégalaise du fleuve.

Le Gorom se connecte au fleuve Sénégal à partir de la localité de Ronkh. Cet axe dessert la cuvette de Boundoum et celle du Djeuss et alimente le Lampsar.

Le marigot Lampsar est relié aux Gorom à la hauteur du village de Boundoum - Barrage où il prend son origine. Il s'étend du pont Boundoum, où il reçoit les eaux des Gorom, à Bango où il se jette dans le fleuve Sénégal à l'aval du barrage de Diama sur un parcours de 70 km. A sa confluence avec le Djeuss, le Lampsar alimente en eau la réserve de Bango.

Le Kassack est un défluent long de 30 km. Il coule parallèlement au Gorom dans le sens nord sud-ouest. Il prend sa source dans le Gorom au niveau de la cuvette de Diambar et son autre extrémité est liée au Lampsar. Il assure une partie de l'année l'alimentation de la réserve d'eau de Saint Louis réalisée au niveau du Djeuss aval.

Le Djeuss est un axe alimenté par le complexe Gorom-Lampsar. Il totalise aussi une longueur de 60 Km. Le Djeuss aval se jette dans le Lampsar à Mboubène et constitue avec celui-ci la réserve d'eau de Saint Louis. La réserve de Bango assure aussi l'approvisionnement en eau potable de la ville de Saint-Louis. Le Djeuss alimente le marigot de Ngalam et la zone des trois marigots par l'intermédiaire de l'ouvrage de Ndiaoudoune.

Le Ngalam est situé au sud-ouest de l'axe Gorom-Lampsar, système dans lequel il est intégré par le Djeuss. Le marigot se dirige vers le Gandiolais. Il est connecté aux trois marigots qui constituent son prolongement vers la dépression du Ndiaël. L'ouvrage clé est celui de Ndiawdoune qui contrôle tout le processus d'alimentation du défluent vers ses tributaires (les trois marigots).

Les trois marigots sont formés de trois dépressions inter dunaires que sont le Khant, le Nguine et le Ndiasséou. Ils sont situés dans une zone au relief un peu accentué et se présentent sous forme de trois marées allongées dans une cuvette. Les trois marigots sont sensiblement parallèles et séparés par un système dunaire. Les trois marigots peuvent alimenter le Ndiaël par le biais du marigot Mbenguèye. Le complexe hydrologique du Guiers se compose des unités suivantes : le chenal de la Taoué, le système Ndiaël-Niet Yone, le réseau « fossile » du Ferlo et la dépression lacustre sensu stricto (s.s.). La Taoué est à l'origine, un marigot sinueux à faible pente qui s'allonge sur de 25 km de longueur. Son tracé hydrographique naturel se compose de chenaux d'écoulement emmêlés et de bassins contigus, véritables cuvettes d'inondation. Elle se rattache au fleuve Sénégal au Km 147 qu'elle relie au lac de Guiers plus au Sud.

Le système Niet Yone/Ndiaël est situé à l'ouest du lac de Guiers. Sa définition spatiale et la configuration de son tracé sont délicates à faire. Le Niet Yone est un axe hydraulique long de 28 km. Il se connecte au nord-ouest du lac de Guiers via lequel il alimente le Ndiaël.

Le lac de Guiers s.s. s'allonge sur près de 50 km suivant un axe nord-nord-est, sud-sud-ouest. Dans sa moitié nord, le lac s'étale largement dans la cuvette. La contenance du lac y est plus importante. Plus au sud, il est enchâssé entre le rebord du plateau du Ferlo et les dunes rouges de l'Ogolien.

A Keur Momar Sarr, le lac décrit un coude, s'ouvre à la vallée du Bounoum (bas Ferlo) qui se dispose en forme d'arc orienté ouest-nord-ouest, est-sud-est à ses premiers kilomètres puis suivant un axe nord-nord-est, sud-sud-ouest entre Diamet et Menguélé. La vallée du Bounoum se rétrécit progressivement en direction de Yang-Yang. A partir de cette localité se dessine le réseau fossile du Ferlo.

5.5.2 Etude écohydrologique

Topo bathymétrie

Les données topo bathymétriques existantes ont été traitées afin de fournir un MNT.. L'information collectée ne porte que sur le lac de Guiers, le Ndiael et le Ngalam. Il devra être complété en fonction des axes choisis pour l'étude.

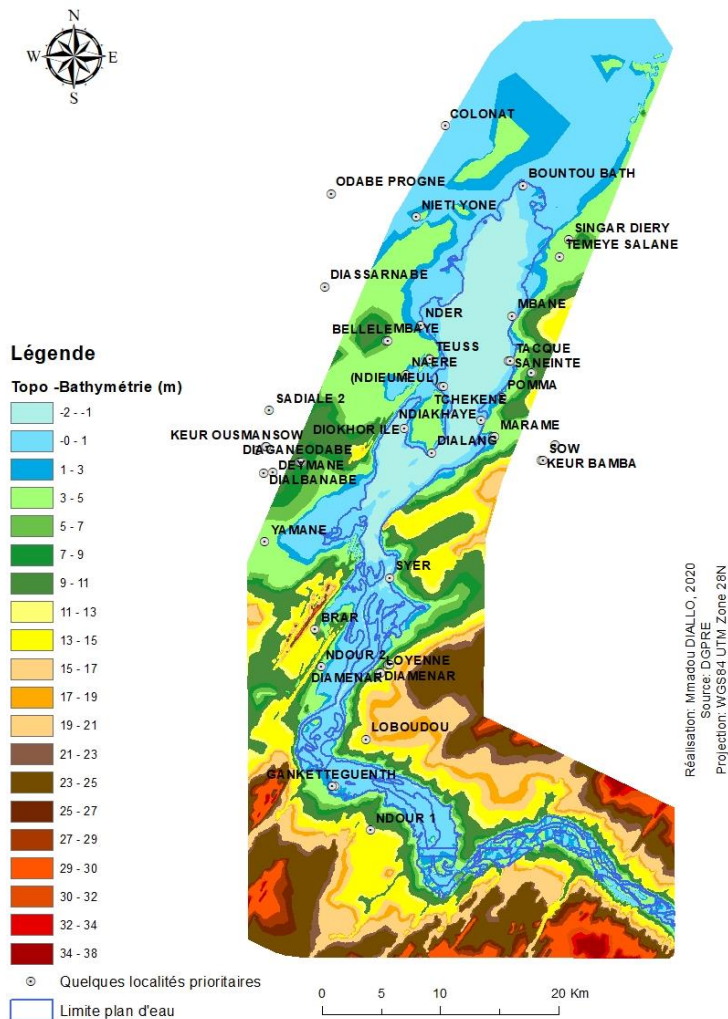


Figure 8 : Modèle numérique topo bathymétrique du lac de Guiers

Evolution limnimétrique

D'une année à l'autre le lac de Guiers est stable toute une partie de l'année. Les différences observées sont pendant la crue ou le niveau de crue diffère de 2016 à 2020. Ce maintien autour de 255 cm. Le lac est géré en position haute et l'eau est maintenue dans des zones peu profondes favorables au développement de végétaux aquatiques et habitats propices aux mollusques.

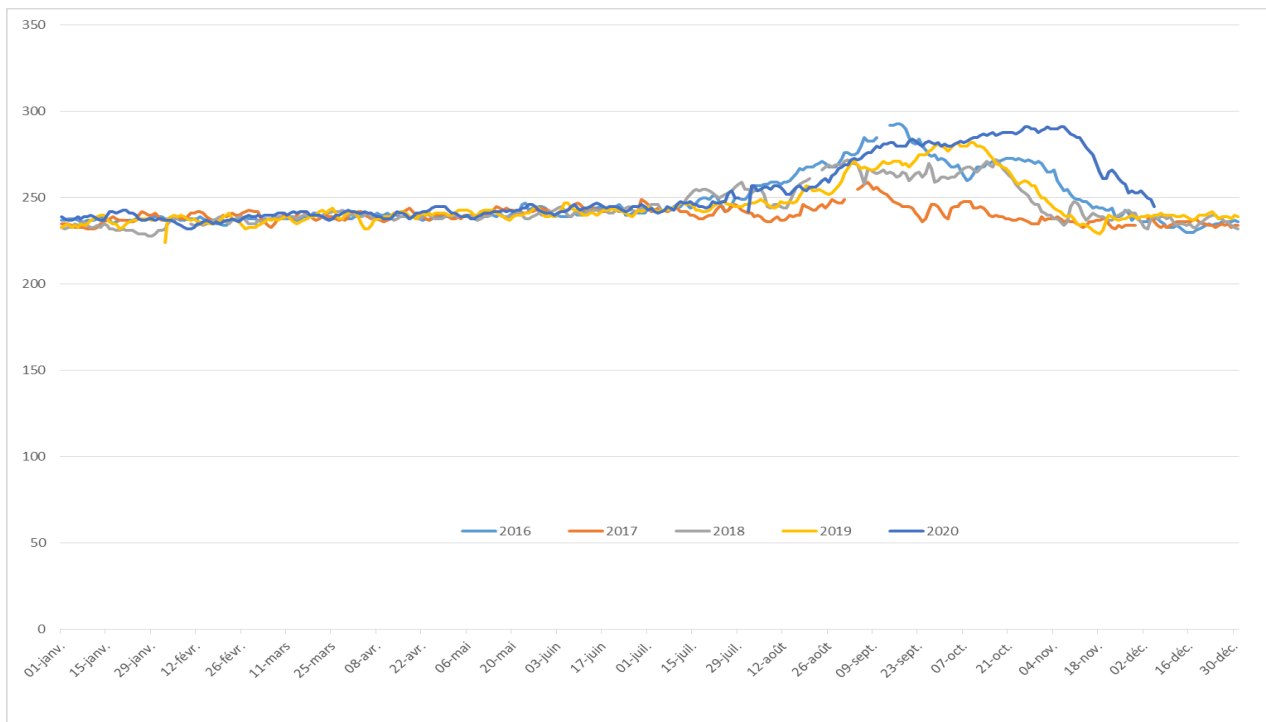


Figure 9. évolution du plan d'eau du lac de Guiers à Gnith

Caractérisation de la qualité de l'eau

Différents paramètres de qualité de l'eau sont suivis dans le lac de Guiers pour divers objectifs de gestion. Le graphique ci-dessous présente une évolution assez « chaotique » d'une année à l'autre sans semblerait-il un lien avec l'hydrologie du lac. Globalement les paramètres sont favorables au développement des conditions biologiques dans le lac de Guiers

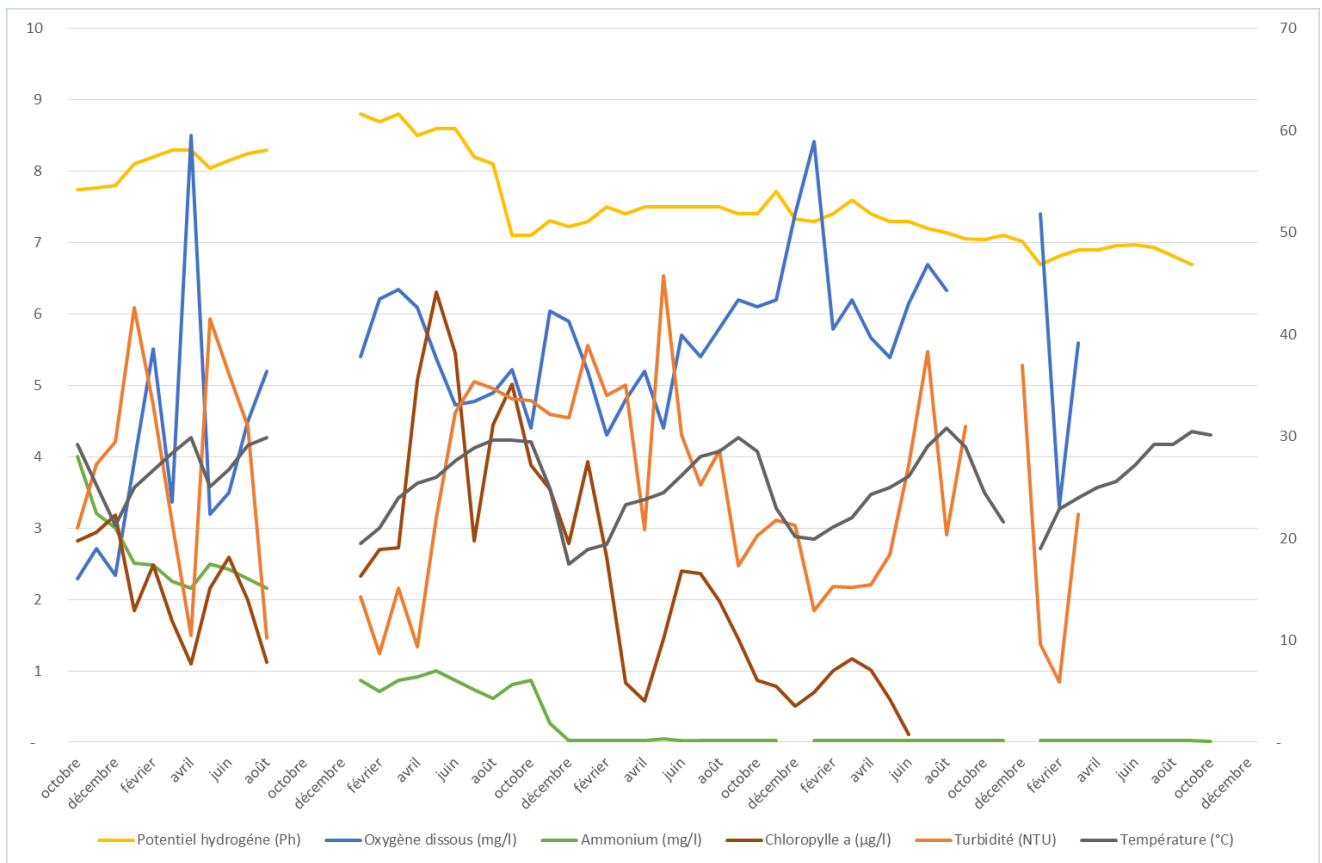


Figure 10 : Evolution mensuelle de différents paramètres de qualité de l'eau de 2016 à 2020 dans le lac de Guiers à la station de Gnith

5.5.3 Etudes des règles de gestion

La manœuvre des vannes applique sur le système les règles de gestion définies. Cette information est difficile à collecter dans les petits émissaires et axes hydrographiques. Cependant l'OLAC compile le processus d'ouvertures des vannes sur le lac de Guiers.

L'information collectées permet d'observer que depuis 2016, les vannes sont ouvertes une bonnes parties de l'année. Elles sont plus utilisées en période de crue afin de réguler le débit entrant dans le lac de Guiers (figure ci-dessous).

Le lac est donc régulièrement en contact avec le fleuve et son niveau semble correspondre à celui du fleuve, le plan d'eau étant seulement isolé entre 5 et 26 jours.

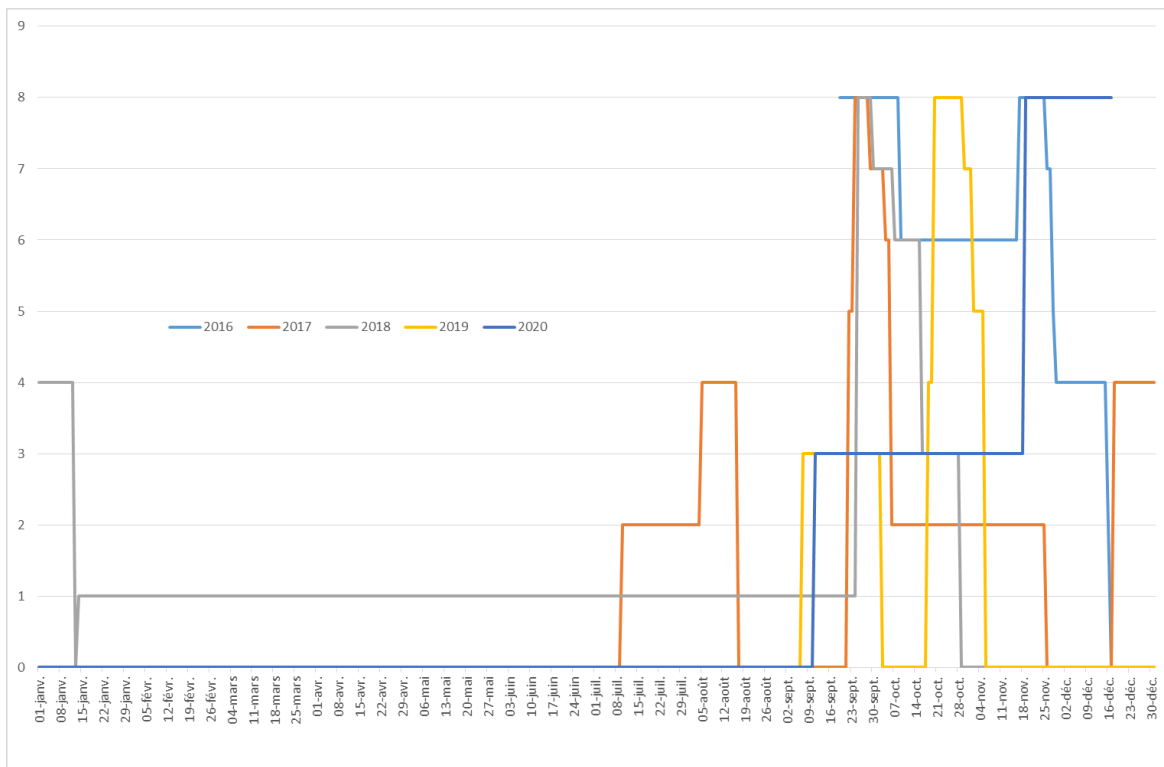


Figure 11 : Manœuvres des vannes au niveau du pont de Richard-Toll

5.6 Résultats préliminaires des essais de lutte biologique

Les résultats préliminaires montrent qu’aussi bien le poisson *Hemichromis bimaculatus* que la crevette *Macrobrachium vollehoveni* peuvent se nourrir de mollusques gastéropodes d’eau douce (Figure 12). Cependant, l’espèce de crevette est plus vorace que le poisson. La quantité de mollusques consommée par la crevette est plus importante que celle consommée le poisson quelque soit la formulation de l’aliment (mollusque seul ou aliment industriel + mollusque).

Les crevettes et les poissons sont capables de se nourrir de mollusques même quand un autre type d’aliment est disponible. La consommation est plus importante si l’aliment est composé uniquement de mollusque et quelques soit l’espèce de prédateur considérée.

Les élevage et les essais de lutte biologique se poursuivent au laboratoire.

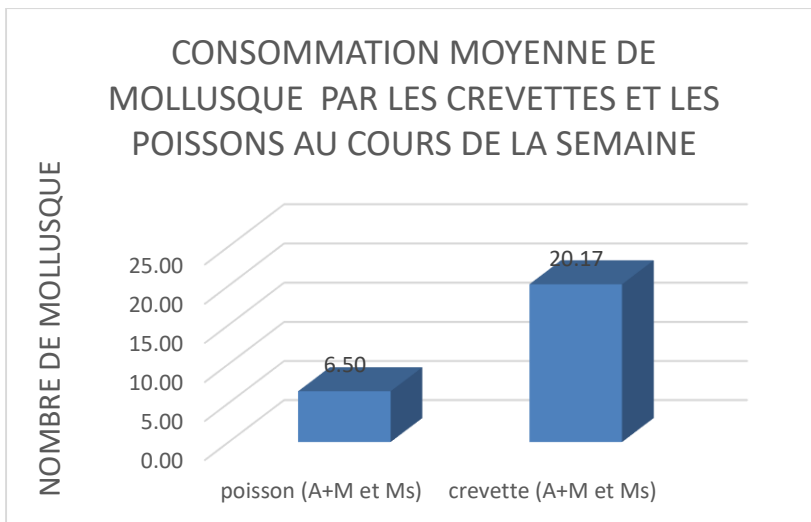


Figure 12 : Comparaison entre la quantité de mollusques par les poissons et celle consommée par les crevettes