



CONTRIBUTION A LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION D'ORIGINE AGRICOLE DES EAUX DU LAC DE GUIERS

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES
OPTION : Eau Agricole

Présenté et soutenu publiquement le 29 Octobre 2015 par

Thierno Sadou SOW

Travaux dirigés par : Dr Dial NIANG
Département Génie Civil et Hydraulique

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Mouhamadou KOITA

Membres et correcteurs : Boucary SAWADOGO
Xavier QUENUM
Dial NIANG

Promotion [2013/2014]

Dédicace

A mon père Dr Ousmane SOW qui a toujours été pour moi un magnifique modèle de labeur, de persévérance et de droiture je dédie ce mémoire.

Remerciements

Mes remerciements vont à l'endroit :

- De Monsieur Amadou BOCOUM, Directeur Général de l'Office du lac de Guiers pour m'avoir accordé ce stage de mémoire de fin d'études au sein de sa structure,
- De Monsieur Sidy FALL, Directeur Technique de l'Office du Lac de Guiers, pour son encadrement rigoureux et ses conseils,
- De tout le personnel de l'Office du Lac de Guiers, avec une mention spéciale à Monsieur Farba Omar SY responsable de la section SIG, pour sa disponibilité, sa gentillesse et sa bienveillance,
- De mon encadreur interne Dr Dial NIANG pour sa disponibilité, sa simplicité et son pragmatisme,
- De tout le corps professoral de 2ie, pour tous les sacrifices auxquels ils consentent pour faire de nous des ingénieurs compétents,
- De Dr Ismaïla GUEYE, professeur à 2ie, ainsi qu'à son épouse et ses enfants pour leur hospitalité et leur disponibilité,
- De tous les membres de l'Association des Etudiants Sénégalais du Burkina Faso, pour tous ces merveilleux moments passés ensemble,
- De tous mes amis du Burkina.

Je ne saurai terminer ces remerciements sans mentionner spécialement ces personnes qui me sont particulièrement chères :

- **Mon père Ousmane SOW** pour m'avoir guidé sur le droit chemin dès mon plus jeune âge jusqu'à maintenant et pour n'avoir ménagé aucun effort durant toutes ces années pour que je puisse réussir,
- **Ma chère mère, Sophie GUEYE** pour son soutien constant et sans faille,
- Mes frères **Mouhamed** et **Abdoulaye** ainsi que ma sœur **Oumouratou**, pour la manifestation d'un amour fraternel constant,
- Toute la **famille SOW** et toute la **famille GUEYE** de Thiès à Dakar sans oublier Mbour,
- Mon conseiller spirituel, **Oustaz Djibril DIALLO** pour ses conseils, ses prières.

Résumé

Cette présente recherche a été effectuée au niveau du Lac de Guiers situé dans le Delta du fleuve Sénégal. Il s'agit du réservoir d'eau alimentant la ville de Dakar et ses environs. Malheureusement cet écosystème connaît de graves problèmes de pollution dus aux activités agricoles. Cette étude dont le thème est: Contribution à la réduction de la pollution d'origine agricole des eaux du lac de Guiers essaie de proposer des pistes de solution pour réduire les sources de pollution en partant d'abord d'un état des lieux de la qualité des eaux du lac et en se basant sur le dimensionnement d'un système d'évacuation des eaux, des principaux tronçons et des ouvrages de stockage et de vidange. Les résultats obtenus montrent une pollution des eaux avec la présence d'azote, de phosphore et de résidus de pesticides résultant de l'utilisation par les agriculteurs, d'engrais et de pesticides. La solution proposée pour réduire ou éliminer la pollution de cet écosystème fragile consiste à construire un nouveau canal de drainage via le prolongement de la branche A de l'émissaire de drainage du Delta. Il s'agira de construire un chenal de 17 kilomètres de long qui collectera les eaux de drainage de la zone nord des périmètres environnants avec la prise en compte de plus de 12 000 ha terres agricoles qui borderont son tracé. Le système comprendra également un bassin de stockage, et une prise de vidange des eaux et l'ensemble de ce système est estimé à 1 669 523 910 F CFA TTC.

Mots clés:

- Pollution
- Lac de Guiers
- Evacuation des eaux de drainage
- Emissaire du Delta
- Delta du Fleuve Sénégal

Abstract

This present study took place in a lake named Lac de Guiers in the Delta of River Senegal. It's the reservoir that supplies in water Dakar and its surroundings. Unfortunately this ecosystem is facing real pollution issues due to the farming activities. This study entitled: Contribution to the reduction of the agricultural pollution of the Lac de Guiers tries to provide some solutions that will contribute to reduce the problem of agricultural pollution starting by a general situation diagnostic and putting the emphasis in the designing of transportation, storage and evacuation infrastructures. The results show an important pollution of this water by nitrogen, phosphorus and pesticides residues due to the uncontrolled use by farmers of fertilizers and pesticides. The solution provided to reduce the pollution in this fragile ecosystem is to create a new drainage channel that will connect the drainage areas to the channel of drainage of the Delta. It consists of the evacuation of the drainage water thru a prolongation of the channel of drainage of the Delta. This solution includes the realization of a prolongation channel of seventeen kilometers length, a storage basin and an emptying intake. That system will take in charge, all the northern part of the lake and all the farming areas boarding the channel for at least 12000 ha drained. The basic pricing leaded to a global project amount of 1 669 523 910 F CFA.

Key words:

- Pollution
- Lac de Guiers
- Drainage water evacuation
- Chanel of drainage of the Delta
- Delta or River Senegal

Liste des abréviations

CSS : Compagnie Sucrière Sénégalaise

DGPRES : Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eaux

DHI : Danich Hydraulic Institute

FAO : Organisation des Nations Unies Pour l'Alimentation et l'Agriculture

IRD : Institut de Recherche et de Développement

KfW : Kreditanstalt Für Wiederaufbau

OLAG : Office du Lac de Guiers

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OMVS : Organisation pour la mise en Valeur du fleuve Sénégal

ONU : Organisation des Nations Unies

MCA : Millennium Challenge Account

PIP : Petit Irrigant Privé

PIV : Périmètre Irrigué Villageois

SAED : Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du fleuve Sénégal et de la vallée du fleuve Sénégal et de la Falémé

SDE : Sénégalaise Des Eaux

UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar

Table des matières

| | |
|--|-----|
| Dédicace..... | ii |
| Remerciements..... | iii |
| Résumé..... | iv |
| Abstract..... | v |
| Liste des abréviations..... | vi |
| Table des matières..... | vii |
| Liste des tableaux..... | ix |
| Liste des figures..... | ix |
| Introduction..... | 10 |
| I. Présentation générale de la région de l'étude..... | 12 |
| 1.1. Généralités sur la zone d'étude..... | 12 |
| 1.1.1. Situation géographique..... | 12 |
| 1.1.2. Climat..... | 13 |
| 1.1.3. Végétation..... | 13 |
| 1.1.4. Sol..... | 14 |
| 1.1.5. Ressources en eaux..... | 15 |
| 1.2. Historique de l'aménagement du Lac de Guiers..... | 17 |
| 1.3. Situation actuelle..... | 18 |
| 1.3.1. Les industries..... | 18 |
| 1.3.2. L'agriculture..... | 19 |
| 1.3.4. La pêche..... | 20 |
| 1.3.5. Les autres usages..... | 20 |
| 2.4. Objectifs de l'étude..... | 20 |
| 2.4.1. Objectif global..... | 20 |
| 2.4.2. Objectifs spécifiques..... | 20 |
| II. Matériels et méthodes..... | 21 |
| 2.1. Localisation de la zone d'étude..... | 21 |
| 2.2. Matériels..... | 21 |
| 2.3. Méthodes..... | 21 |
| III. Résultats et discussions..... | 25 |
| 3.1. Problématique de la pollution des eaux..... | 25 |
| 3.1.1. Salinité du lac..... | 25 |
| 3.1.2. Présence de pesticides dans l'eau..... | 25 |
| 3.1.3. Présence de nutriments dans l'eau..... | 27 |
| 3.1.4. Discussion..... | 28 |
| 3.2. Solution proposée..... | 29 |

| | |
|--|----|
| 3.3. Détermination des débits de pointe | 31 |
| 3.4. Dimensionnement des canaux | 34 |
| 3.5. Dimensionnement de l'ouvrage de stockage et de l'ouvrage de vidange | 37 |
| 3.5.1. Réservoir de stockage | 37 |
| 3.5.2. Ouvrage de vidange | 39 |
| 3.6. Estimation du coût des ouvrages | 40 |
| 3.6.1. Devis quantitatif | 40 |
| 3.6.2. Devis estimatif | 41 |
| IV. Conclusion et recommandations | 43 |
| Bibliographie | 45 |
| Annexes | 46 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Végétation aux abords du lac | 14 |
| Tableau 2 : Estimation de la population..... | 17 |
| Tableau 3 : Liste des principes actifs recherchés | 26 |
| Tableau 4 : Calcul du débit dans le tronçon 1 | 32 |
| Tableau 5 : Calcul du débit dans le tronçon 2..... | 32 |
| Tableau 6 : Calcul du débit dans le tronçon 3..... | 33 |
| Tableau 7 : Débits cumulés dans les tronçons | 33 |
| Tableau 8 : Dimensions des canaux | 34 |
| Tableau 9 : Dimension des canaux après uniformisation des débits..... | 35 |
| Tableau 10 : Calage des canaux | 35 |
| Tableau 11 : Hauteurs d'exhaussement requis | 36 |
| Tableau 12 : Calcul du tirant d'eau critique | 36 |
| Tableau 13 : Calcul de la hauteur d'exhaussement maximale..... | 36 |
| Tableau 14 : Adaptation de la section de la branche A..... | 37 |
| Tableau 15 : Volume cumulé en fonction de la côte..... | 38 |
| Tableau 16 : Calcul de la section de chaque orifice..... | 39 |
| Tableau 17 : calcul du diamètre théorique des conduites | 39 |
| Tableau 18 : Calcul et choix du diamètre des conduites..... | 39 |
| Tableau 19 : Détermination du coût des ouvrages | 42 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Carte de situation | 12 |
| Figure 2 : Eaux de surface et axes hydrauliques | 16 |
| Figure 3 : Schématisation de l'état actuel du lac | 18 |
| Figure 4 : Tracé du canal..... | 30 |
| Figure 5 : Système d'évacuation des eaux..... | 31 |
| Figure 6 : Courbe Volume Hauteur..... | 38 |

Introduction

L'eau douce est rare. En effet, sur 1,4 milliard de km³ d'eau disponible sur terre elle ne représente que 35 millions de km³, soit environ 2,8 % du patrimoine global. La quasi-totalité de cette eau douce se trouve sous forme de glace. Au final les fleuves, lacs, rivières et autres eaux douces de surface ne représentent que 0,02 % du total. L'inégalité de la répartition de cette eau, combinée aux effets d'une démographie galopante et du bouleversement climatique font que certains pays du monde se retrouvent en état de stress hydrique. Le Rapport de l'Organisation des Nations Unies (ONU) sur le développement de l'eau à l'échelon mondial indique qu'au milieu du siècle présent, environ 7 milliards de personnes risquent de manquer d'eau dans 60 pays du monde. En Afrique, il est prévu que des pays comme le Nigéria, la Tanzanie, le Burkina Faso, le Niger, le Swaziland, l'Erythrée et le Mozambique vont connaître le stress hydrique. D'autres pays comme l'Algérie, la Tunisie, la Somalie, le Maroc, et le Kenya figurent sur la liste des pays où l'eau sera une denrée rare vers les années 2025. Ce constat inquiétant oblige donc les pays qui ne figurent pas encore sur cette liste à prendre conscience et à se pencher sur la question de la gestion durable de leurs eaux.

L'État du Sénégal a mené depuis plusieurs décennies, une politique de maîtrise de l'eau visant à mettre à la disposition des divers utilisateurs une eau en quantité suffisante et de qualité appropriée selon les usages. Face à cette nécessité de contrôler la situation, le Sénégal s'est fixé quatre objectifs en s'engageant depuis quelques années dans une politique de gestion intégrée de ses ressources en eau. Ces principaux objectifs consistent à satisfaire les diverses sollicitations accrues des ressources en eau nécessaires dans le futur, d'adapter certaines politiques actuelles inadéquates, et d'intégrer les sous-secteurs négligés dans le domaine.

Dans cette dynamique, plusieurs actions ont été entreprises dans le cadre de plusieurs projets. Dans nord du pays, qui regorge d'importantes ressources en eau, nous pouvons citer le Plan de Gestion du lac de Guiers qui a été élaboré en 2006 et qui recommande les options organisationnelles, techniques et institutionnelles pour une meilleure gestion du lac.

Sur le plan institutionnel, il a été créé par la loi 2010-01 du 20 janvier 2010, l'Office du Lac de Guiers (OLAG), comme établissement public à caractère industriel et commercial exclusivement chargé de la gestion du Lac de Guiers. En posant cet acte, l'Etat du Sénégal entend mettre en œuvre une politique hardie de contrôle, de suivi et de protection de la ressource dont la pérennité est

tributaire d'une gestion rationnelle et efficiente impliquant l'ensemble des acteurs concernés, notamment l'Etat, les collectivités locales, le secteur privé, les populations.

Malheureusement, depuis quelques décennies, cet écosystème connaît d'énormes problèmes de pollution liés en grande partie aux activités agricoles. En effet, le Lac de Guiers jadis utilisé pour l'approvisionnement en eau potable de la région de Dakar, est exploité par de grandes unités agroindustrielles comme la Compagnie Sucrière Sénégalaise et par de petits et moyens aménagements hydroagricoles. Ces différentes activités s'accompagnent d'une utilisation importante en engrais et pesticides qui sont à l'origine des différentes sources de pollution. Pour essayer de réduire ou d'éliminer cette pollution des eaux du lac, diverses actions sont entreprises par les autorités sénégalaises qui ont défini un certain nombre de prérogatives à l'Office du lac de Guiers. Il s'agit entre autres de la définition d'une politique de gestion intégrée de la ressource en mettant plus l'accent sur un suivi qualitatif et quantitatif. Vu la gravité de la situation, il urge de prendre des mesures adéquates pour la survie de cet écosystème capital dans un pays sahélien. C'est dans ce contexte que notre thème de recherche a été initié en vue de proposer des solutions pour atténuer ou diminuer les risques de pollution.

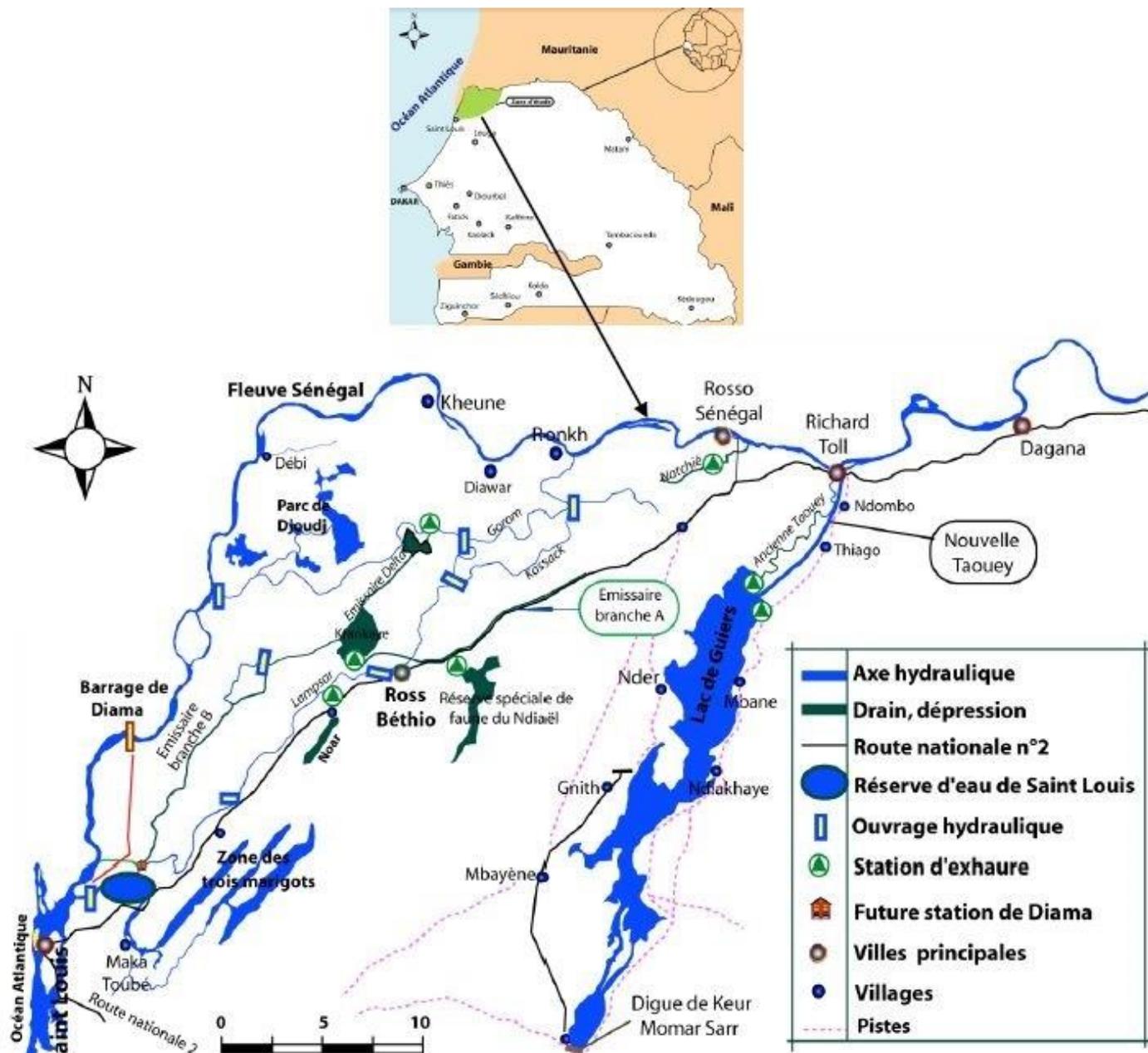
Le présent document fait état des résultats acquis au terme de plusieurs années de campagne de terrain. Il est articulé autour de quatre parties principales. La première partie présente le contexte géographique, physique et climatique relatif à la zone d'étude. La deuxième partie présente les objectifs de l'étude, le dispositif expérimental et le protocole de mesures. Quant à la troisième partie, elle est consacrée à la présentation détaillée de l'ensemble des résultats obtenus et de l'estimation financière de la solution proposée. La quatrième partie regroupe la conclusion, les recommandations et les annexes.

I. Présentation générale de la région de l'étude

1.1. Généralités sur la zone d'étude

1.1.1. Situation géographique

Le lac de Guiers se situe dans le Delta du fleuve Sénégal où il occupe une dépression allongée dans l'axe Nord-Sud d'environ 50 km de large, entre 15°55 et 16°16 de longitude Ouest et entre 15°40 et 16°36 de latitude nord (Figure 1). Il appartient à la zone aval du réseau hydrographique fossile du Ferlo, vaste bassin versant de 37 000 km².



Au plan administratif, le lac de Guiers est bordé par les cinq communautés rurales que sont : Ronkh (Nord-Ouest), Ngnith (l'essentiel de la partie Ouest), Mbane (l'essentiel de la partie Est), Syère (Sud-Est) et Keur Momar Sarr (Sud et Sud-ouest).

1.1.2. Climat

La région du lac de Guiers est caractérisé par un climat du type sahélien, avec :

- une saison des pluies d'une durée de 4 mois environ entre le mois de juillet et le mois d'octobre, avec des pluies de faibles intensité et irrégulières variant entre 100 et 400 mm/an;
- une saison sèche fraîche de novembre à février (avec des températures variant entre 12 et 34°C et des vents forts), et une saison sèche chaude de mars à juin (avec des températures variant entre 26° et 40°C et prédominance de l'harmattan, vent chaud et sec chargé de poussière pouvant souffler jusqu'à 70 km/h);
- Une insolation qui peut dépasser 3.000 heures par an et une radiation élevée toute l'année (10h/j en moyenne);
- Une évaporation estimée à 2 400 mm en moyenne; elle est loin d'être compensée par la pluviosité et le déficit hydrique est important pendant toute la saison sèche, avec une moyenne évaporatoire de l'ordre de 7 mm/jour pouvant atteindre des pointes de 15mm/jour.

1.1.3. Végétation

En fonction de la proximité par rapport au plan d'eau, nous retrouverons : des plantes aquatiques envahissantes, des plantes ligneuses et des plantes herbacées comme le décrit le tableau 1.

Tableau 1 : Végétation aux abords du lac

| Localisation par rapport au lac | Végétation | Type de plante | Observations |
|---------------------------------|---|----------------------------------|--|
| Bordure de lac | Typha australis Phragmites australis | Plantes aquatiques envahissantes | La densité en progression de ces plantes gêne l'accès au plan d'eau des usagers (agriculteurs, pêcheurs, pasteurs). |
| Zone éloignée du lac | Balanites aegyptiaca, Acacia radiana Boscia senegalensis Acacia seyal Salvador persica Zizyphus mauritiana Prosopis Tamarix indica | Plantes ligneuses | Végétation en forte dégradation du fait de la raréfaction des pluies, de l'avancée du front agricole et des actions anthropiques pour satisfaire les besoins en bois, énergie et services. |
| | Aristida sp Cenchrus biflorus Tribulus terrestris Dactyloctenium aegyptium Cassia occidentalis Maerua oblongifolia | Plantes herbacées | Végétation assez dégradée du fait de la charge pastorale. |

Source : Rapport diagnostique Elaboration Plan de Gestion du lac de Guiers

1.1.4. Sol

Les sols rencontrés dans la zone du lac sont de la classe des sols isohumiques, avec les sous classes suivantes :

- Sol isohumique brun subaride intergrade hydromorphe ;
- Sol isohumique brun rouge intergrade ferrugineux faiblement évolué sur sable siliceux ;
- Sol isohumique intergrade ferrugineux sur sable siliceux.

Ces types de sols sont sableux, filtrants donc avec une capacité de rétention d'eau faible. Des sondages réalisés lors de l'étude du plan directeur d'aménagement agricole de la zone du lac ont révélé que les sols ne présentaient ni de problèmes de salinité, ni de problèmes d'alcalinité. Le seul facteur limitant pour une utilisation pour l'agriculture est la fertilité chimique qui est jugée médiocre. Donc un rehaussement de ce statut de fertilité nécessite l'apport en NPK pour une utilisation durable des terres.

1.1.5. Ressources en eaux

- Les eaux de surface

Le lac de Guiers fait partie d'un complexe hydrologique comprenant le canal de la Taouey, le lac en tant que tel (la dépression lacustre), l'axe hydraulique du Nietty Yone, la dépression du Ndiael et le réseau dit fossile du Ferlo.

- La Taouey est un marigot au tracé sinueux qui parcourt environ 25 kilomètres pour atteindre le lac de Guiers. En 1974, un canal rectiligne de 17km de long a été érigé aux abords du marigot pour diminuer les pertes de charges occasionnées par la sinuosité de l'ancienne Taouey. Il alimente depuis cette date le lac à partir du fleuve Sénégal.
- Lac de Guiers est une dépression allongée dans l'axe Nord-Sud d'environ 50 km de large. Le lac constitue l'une des principales réserves d'eau douce du Sénégal, contenant plus de 600 millions de m³ d'eau lorsque son plan d'eau est à la côte 2m IGN.
- Le Nietty Yone est un axe hydraulique long de 28 km, il se connecte au nord-ouest du lac de Guiers.
- La dépression du Ndiael est située sur les marges sud-est du delta du fleuve Sénégal, rive gauche, entre le lac de Guiers à l'est et le marigot du Lampsar au Nord-Ouest. Il s'étend sur 46 550 ha dont 10 000 hectares (la grande cuvette) classés en zone humide dans le cadre de la convention de Ramsar.

La figure 2 situe la position des axes hydrauliques principaux de la zone.

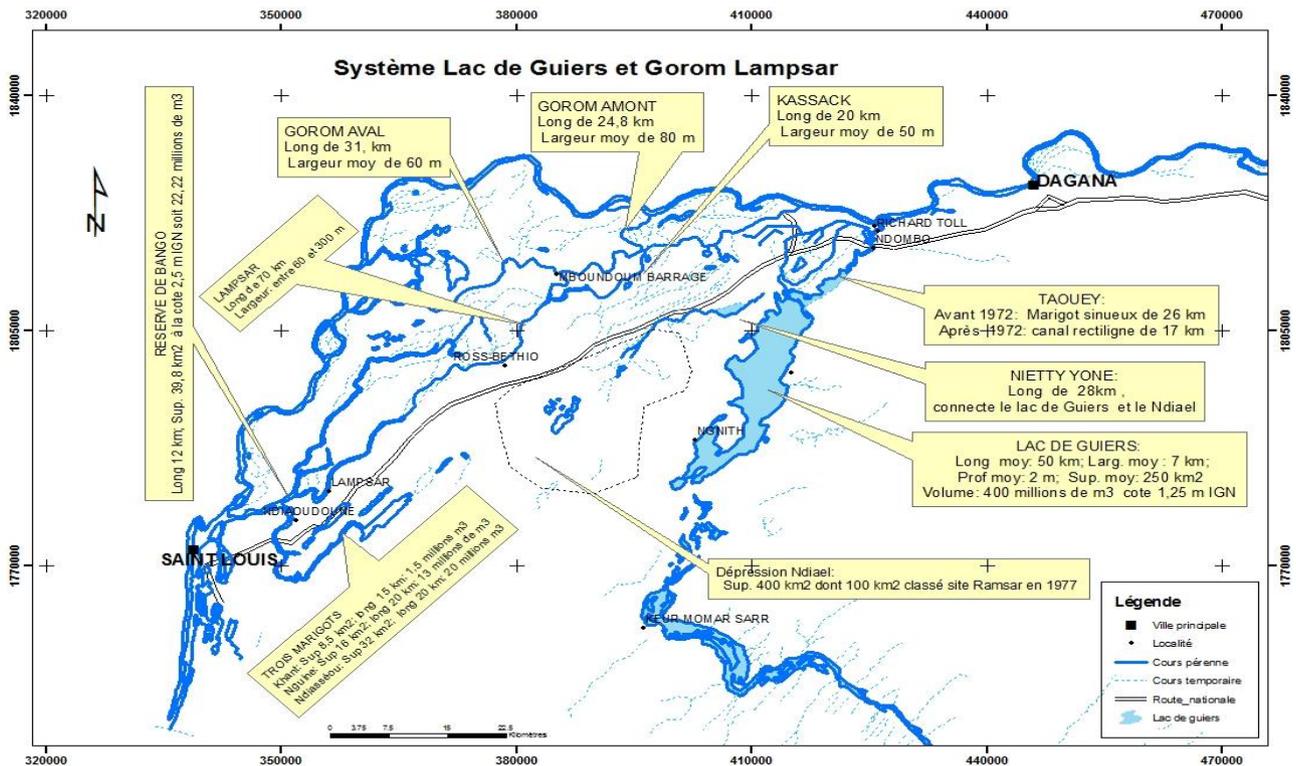


Figure 2 : Eaux de surface et axes hydrauliques
Source : OLAG/ Département SIG

- Les eaux souterraines

Depuis les années 1970, plusieurs études hydrogéologiques ont établi la présence :

- d'une nappe profonde fossile dite du Maestrichtien qui couvre le bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien et la vallée du fleuve ;
- de plusieurs nappes phréatiques superficielles interdépendantes et fortement salées. Cette salure d'origine marine est le résultat de la transgression nouakchottienne (5500 BP).

Remarque : Il a été noté un fort rehaussement du niveau de la nappe phréatique à partir de 1990. Cette augmentation du niveau de la nappe est l'une des conséquences de la construction du barrage de Diama qui par sa politique de gestion haute des eaux a contribué au rechargement de la nappe. Aussi, l'irrigation largement pratiquée dans la zone a également contribué à la recharge de la nappe qui à certains endroits a salinisé des terres par remontés capillaires.

1.1.6. Cadre humain

Lors du recensement général de la population de l'année 2002 la population totale dans les cinq communautés rurales limitrophes du lac était de 26625 habitants. Par estimation en adoptant le taux de croissance moyen de la population au Sénégal (2,9%), nous arrivons à un peu plus de 37500 habitants (tableau 2).

Trois ethnies sont fréquentes dans la zone du lac, chacune d'elles entretient des rapports particuliers avec le lac et leurs activités sont très souvent intimement liées au lac. Il s'agit :

- des wolofs : ils sont essentiellement des agriculteurs ;
- des peuhls : ils sont traditionnellement des éleveurs ;
- des maures : éleveurs en général.

Tableau 2 : Estimation de la population

| Communautés Rurales | Nombre de villages | RGPH (2002) | Estimation 2014 (taux de croissance de 2.9%) |
|---------------------|--------------------|--------------|--|
| Ronkh | 5 | 1566 | 2207 |
| Ngnith | 28 | 10392 | 14645 |
| Keur Momar Sarr | 13 | 6772 | 9543 |
| Mbane | 11 | 6407 | 9029 |
| Syer | 4 | 1488 | 2097 |
| TOTAL | 61 | 26625 | 37521 |

1.2. Historique de l'aménagement du Lac de Guiers

- Avant les grands barrages du fleuve Sénégal

Le lac de Guiers dans sa configuration originelle était un défluent du fleuve Sénégal en régime naturel. C'est-à-dire que les phases de remplissage et déversement se succédaient au rythme des crues et des étiages du fleuve Sénégal. Les mouvements de masse d'eau n'étaient engendrés que par la recherche d'un perpétuel état d'équilibre entre les plans d'eau du fleuve, du lac de Guiers et du Ferlo. La multiplication des aménagements hydroagricoles (dès 1916), l'augmentation des prélèvements d'eau et les conditions climatiques drastiques qui se faisaient de plus en plus sentir entraînent des répercussions négatives sur la situation de remplissage du lac. Au début des années 1980, la diminution des volumes moyens annuels du lac était assez significative (avec un marnage de 2,09m en moyenne) qui atteignait un record juin 1982. Cette situation extrême se traduisit par un assèchement total de la région sud du lac et la réduction de la partie nord à une mare de 70 km² de superficie. Au problème de mauvais remplissage du lac s'ajoutait une salinisation progressive du lac avec la remontée de la langue salée marine dès que les niveaux du fleuve baissaient en saison sèche.

- Après les grands barrages du fleuve Sénégal

Depuis sa construction en 1986, sur le fleuve Sénégal, le barrage de Diama a fortement amélioré les conditions d'exploitation de l'eau du lac. D'abord, l'érection du barrage a permis le blocage de la

langue salée qui remontait le fleuve jusqu'au lac et rendait l'eau difficilement exploitable pour l'agriculture. Ensuite cela a également permis, le rehaussement de la côte du plan d'eau dans le lac ainsi que la diminution du marnage saisonnier, permettant une disponibilité de l'eau toute l'année pour les exploitants du lac.

1.3. Situation actuelle

Après la mise en service du barrage de Diama, le lac et sa zone d'influence immédiate se sont vus d'avantage exploités par divers catégories d'utilisateurs. Cet engouement général fut même encouragé par l'Etat avec la mise en place des politiques d'incitation à l'investissement privé, qui facilitaient les conditions d'accès à la terre à l'eau et au crédit dans la région du Delta.

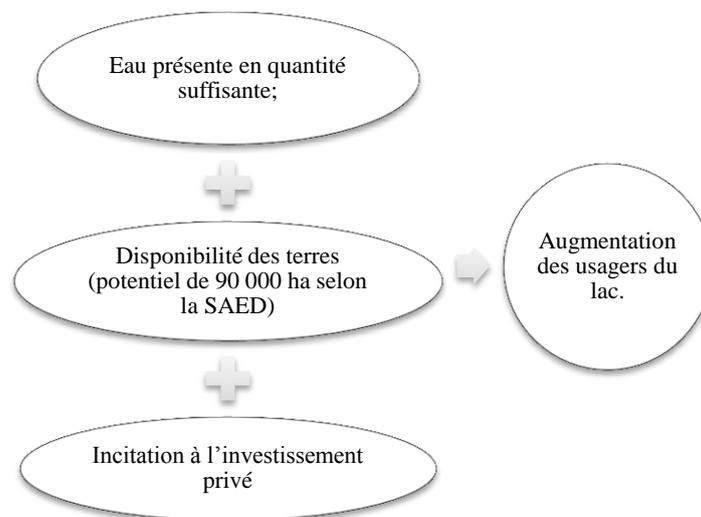


Figure 3 : Schématisation de l'état actuel du lac

Ainsi l'eau du lac est utilisée par des industriels, les agriculteurs, les pêcheurs, les éleveurs et les riverains pour les usages domestiques et de boisson.

1.3.1. Les industries

Principalement deux grosses industries utilisent les eaux du lac.

D'abord il y a la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) qui prélève l'eau du lac pour une culture intensive de canne à sucre. Les superficies aménagées par la CSS sont importantes : près de 15000 ha à ce jour, dont près de 7500 sont aménagés pour la monoculture de la canne à sucre. Cette activité se caractérise par une grande utilisation de l'eau et d'intrants agricoles. Ces 15 dernières années, la zone du lac a connu une forte augmentation de l'activité industrielle en particulier de l'agro-industrie. De nos jours, une vingtaine d'entreprises agro-industrielles sont dénombrées dans la zone périphérique du lac.

Ensuite, l'autre industrie importante qui exploite les eaux du lac de Guiers est la Sénégalaise Des Eaux (SDE). Implantée depuis 1970 elle utilise l'eau du lac dans ses stations de traitement de Gnith et de Keur Momar Sarr pour les besoins en eau de Dakar et d'autres grands centres urbains. En 2014, la production d'eau potable était de 185000 m³/j, elle devra s'élever à 300000 m³/j en 2019 avec le projet d'alimentation en eau potable de Touba pour atteindre 500000 m³/j à l'horizon 2030 selon les prévisions de la SDE.

1.3.2. L'agriculture

L'agriculture était l'activité fondamentale de l'économie traditionnelle. Elle se pratiquait sous forme pluviale et en cultures de décrue.

Les cultures pluviales se pratiquent dans le *Diéri* en saison des pluies (fin juillet - mi-Septembre). Elles portent sur l'arachide, les céréales (mil *souna*...) et les haricots (*niébé*). La sécheresse a eu raison de l'agriculture pluviale qui souffre d'un délaissement au même titre que l'agriculture de décrue.

L'agriculture de décrue (ou *mbakk*) est une pratique séculaire le long des rives du lac de Guiers. Son importance varie d'un village à un autre en fonction des superficies disponibles et de la démographie. Les spéculations développées sont la patate douce, le manioc, quelques céréales (mil, sorgho...) et récemment les produits maraîchers avec une nette prépondérance pour la tomate. Les récoltes des cultures de décrues représentaient un revenu non négligeable pour les populations. C'était une activité complémentaire ou d'appoint pour le revenu annuel du paysan surtout en épisode de sinistres. Mais cette pratique a été peu à peu abandonnée à cause des variations du plan d'eau et des typhas qui ont occupé les petites marges de terres qu'offrait le retrait des eaux.

L'agriculture irriguée dans la région du lac de Guiers est dominée par des initiatives privées. On y distingue les aménagements encadrés par la SAED de celles non SAED. Les aménagements SAED de la région du lac de Guiers appartiennent au périmètre de Richard-Toll. Nous y distinguons les exploitations de types « grand aménagement » (Ntiago et Colonat), les périmètres agricoles intermédiaires (PAI) ainsi que périmètres irrigués villageois (PIV). Les privés non SAED sont appelés PIP (périmètres irrigués privés). Ce sont les exploitants qui se sont installés par leurs propres moyens dans les années 1960 avec les foyers des jeunes aux abords des grands aménagements de la SAED. Dans la région du lac de Guiers, les PIP se rencontrent en plus grand nombre dans la moitié sud (région de Louga) zone située en dehors des attributions de la SAED.

1.3.3. L'élevage

L'élevage dans la région du lac apparaît sous diverses formes. En premier lieu un système extensif habituellement connu chez les grands éleveurs peulhs qui pratiquent une transhumance saisonnière.

En second lieu nous avons système villageois appelé « l'élevage de case ». Le troupeau est confié à un berger peulh, pasteur de profession ou parqué à proximité des demeures dans des enclos et surveillé par les propriétaires eux-mêmes. En dernier lieu, nous retrouvons un système d'élevage maure qui concerne les petits ruminants mais aussi les chameaux.

Avec l'encerclement du lac de Guiers par l'agriculture irriguée, l'espace pastorale s'est réduit. Quelques voies d'accès au lac lui sont ouvertes. Cette situation indique les éléments d'une mutation certaine vers un système intensif d'élevage.

1.3.4. La pêche

La pêche constitue la troisième activité productive dans la zone du Lac. Durant les dernières décennies, elle a connu un net recul lié notamment au développement des végétaux aquatiques envahissants. Face à cette situation, beaucoup d'actifs se sont progressivement tournés vers d'autres secteurs, en particulier l'agriculture.

La pêche est de type artisanal avec l'utilisation du filet épervier comme principal matériel utilisé. Elle est pratiquée toute l'année, mais la période de pointe se situe entre avril et mai. Elle est exclusivement pratiquée par des hommes et, surtout, des jeunes à qui elle procure des revenus supplémentaires. Ces dernières années la production est stabilisée 2000 tonnes par an.

1.3.5. Les autres usages

Les populations des villages riverains au lac utilisent des fois l'eau du lac pour les usages domestiques (eau de boisson, lessive,...). Cette utilisation souvent sans prises de précautions et à l'origine de divers problème de santé public.

2.4. Objectifs de l'étude

2.4.1. Objectif global

L'objectif principal de cette étude est de proposer des pistes de solutions en vue de réduire ou éliminer les sources de pollution du Lac de Guiers, surtout la pollution d'origine agricole.

2.4.2. Objectifs spécifiques

Pour atteindre cet objectif global, il s'agira spécifiquement :

- Proposer un système d'évacuation des eaux de drainages issues de la zone Nord du lac ;
- Proposer une étude technique sommaire des ouvrages du système d'évacuation ;
- Faire une estimation du coût des ouvrages à construire.

II. Matériels et méthodes

La démarche retenue pour mener cette étude repose sur plusieurs axes : une étude bibliographique, des enquêtes et mesures de terrain, l'interprétation et l'analyse des principaux résultats et la rédaction du rapport.

2.1. Localisation de la zone d'étude

Cette étude a été menée dans la zone du Ferlo principalement au niveau du Lac de Guiers qui est l'une des plus importantes retenues naturelles du fleuve Sénégal (cf figure 1). Il s'agit d'un important écosystème à plusieurs usages (adduction d'eau potable, aménagements hydroagricoles, pêche).

2.2. Matériels

L'ensemble du matériel utilisé pour cette étude est résumé comme suit :

- fiche d'enquête ;
- modèle numérique de terrain (MNT) ;
- images satellite Landsat ;
- Google Earth, ArcGis 10.1.

2.3. Méthodes

Les principales méthodes de calcul utilisées concernent surtout le calcul du débit de projet avec les méthodes ORSTOM et CIEH, le dimensionnement des canalisations et des ouvrages hydrauliques.

• Calcul des débits de projet et dimensionnement des canalisations des ouvrages

En Afrique de l'Ouest et du centre deux méthodes de prédétermination de la crue décennale sont largement utilisées par les concepteurs d'aménagements : celles du Comité Interafricain d'Etude Hydraulique (CIEH) et de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), organisme aujourd'hui remplacé par l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement).

La méthode ORSTOM

RODIER & AUVRAY ont proposé en 1965 une méthode d'estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie comprise entre 10 et 200 km² en Afrique occidentale. La démarche consiste à classer le bassin étudié dans un groupe de bassins dont les caractéristiques physiographiques sont proches et de définir par abaques les paramètres de la crue décennale.

La crue décennale pouvant être définie comme étant la crue provoquée par une pluie décennale, le débit de ruissellement décennal correspondant exprimé m^3/s est défini par la relation suivante :

$$Q_{r10} = A \cdot P_{10} \cdot K_{r10} \cdot \alpha_{10} \cdot S / T_{b10} \quad (1)$$

Dans laquelle :

A : coefficient d'abattement calculé selon la formule de Vuillaume ; K_{r10} : coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale ; α_{10} : coefficient de pointe correspondant à la crue décennale ; S : superficie du bassin versant en km^2 ; T_{b10} : temps de base de la crue décennale ; P_{10} : pluie journalière maximale décennale.

Le débit de pointe de la crue décennal Q_{10} est la somme des débits de ruissellement décennal Q_{r10} et le débit dû à l'écoulement retardé Q_{ret10} . Ce débit est estimé à 5% du débit de ruissellement décennal.

$$Q_{10} = Q_{r10} + Q_{ret10} \quad (2)$$

$$Q_{10} = 1,05 \times Q_{r10} \quad (3)$$

Méthode régionale CIEH 1984 (actualisée en 1996)

C'est une méthode statistique avec plusieurs variantes qui sont fonction de la position géographique du bassin versant. Les auteurs ont défini 48 équations selon les valeurs des différents coefficients.

La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q_{10} est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$Q_{10} = a \cdot S^b \cdot P_{an}^c \cdot I_g^d \cdot K_{r10}^e \quad (4)$$

Avec :

a, b, c, d, e : coefficients de régression ; K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal (%) ; P_{an} : Pluie annuelle (mm) ; S : surface du bassin versant en km^2 ; I_g : indice global de pente (m/km).

- **Dimensionnement des canalisations à surface libre**

Les canaux sont dimensionnés avec la formule de Manning Strickler

$$Q = K_S \cdot S \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{I} \quad (5)$$

K_S coefficient de Strickler = 35 ; I est la pente ; R_h est le rayon hydraulique

- **Dimensionnement des ouvrages de vidanges et étude des singularités**

Ouvrages de vidange

L'ensemble constituant les ouvrages de vidange se compose d'une prise au niveau de la mare débouchant sur un coursier en gradin fait en gabions. La prise d'eau sera de type ajutage est sera dimensionné comme tel.

Le dimensionnement de l'ajutage se base sur la formule de Torricelli :

$$U = \sqrt{2g\Delta_h} \quad (6)$$

Avec U la vitesse d'écoulement en m/s ; g l'accélération de la pesanteur en m/s^2 ; Δ_h la hauteur de la lame d'eau au droit de la section de l'orifice en m.

Connaissant le débit à évacuer la section de l'orifice est donnée par la formule (7)

$$Q_v = m \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta_h} \quad (7)$$

m est le coefficient de débit de l'orifice, $m = 0.55$ dans notre cas ; S est la section de l'orifice en m^2 ; est la hauteur maximale de l'eau au droit de la conduite.

Section des conduites en fonte

Le débit dans la conduite est lié à la section et la vitesse par la relation (8)

$$Q_c = U \cdot S_c \quad (8)$$

La section d'une conduite circulaire est donnée par l'équation (9)

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (9)$$

Or, le débit admit par l'ouvrage de prise sera le même qui circulera dans les conduites. Donc nous pouvons déduire des équations (7) et (8) :

$$m \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta_h} = U \cdot S \quad (10)$$

Les paramètres m , S , g , Δ_h sont toutes constantes et connues, donc pour équilibrer les deux membres de l'équation (9), il suffira d'itérer la valeur de la vitesse U .

Décrochement de la côte du canal

En admettant la condition de Rouse, c'est-à-dire que la transition est courte, les pertes de charges entre deux sections très proches encadrant le décrochement de seuil. D'où l'équation du 3^{ème} degré :

$$y_1 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot S_1^2} = y_2 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot S_2^2} \pm \Delta_z \quad (11)$$

Ce qui revient à écrire

$$H_{s1} = H_{s2} \pm \Delta_z \quad (12)$$

Dans notre cas le décrochement est une surélévation du radier, donc nous aurons :

$$H_{s1} = H_{s2} + \Delta_z \quad (13)$$

Pour que l'entièreté du débit s'écoule vers le bief aval (pas de contrôle au seuil), il nous faut calculer la hauteur de décrochement du canal tel que, la charge spécifique dans le bief aval H_{s2} soit supérieure à la charge spécifique minimal dans le même bief H_{sc2} .

En résumé pour obtenir l'écoulement souhaité il faudra remplir les conditions suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} H_{s2} = H_{s1} - \Delta_z \\ \text{tel que} \\ H_{s2} > H_{sc2} \end{array} \right. \quad (14)$$

La condition critique étant donnée par :

$$\frac{Q^2 \cdot 1}{g \cdot S^3} = 1 \quad (15)$$

On peut écrire :

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{S^3}{1}, \text{ soit } \frac{Q}{\sqrt{g}} = S \cdot \sqrt{\frac{S}{L}} \quad (16)$$

$$\text{donc } \frac{Q}{\sqrt{g}} = S \cdot \sqrt{y_m} \quad (17)$$

La valeur de $\frac{Q}{\sqrt{g}}$ étant constante, il suffira de faire converger l'entité $S \cdot \sqrt{y_m}$ vers l'entité $\frac{Q}{\sqrt{g}}$ par itération de la valeur de y pour atteindre la valeur du tirant d'eau critique y_c .

III. Résultats et discussions

3.1. Problématique de la pollution des eaux

Le Lac de Guiers est le siège de plusieurs activités pouvant entraîner une pollution de l'eau. En effet, la multiplicité des activités anthropiques autour du lac de Guiers fait que les potentiels facteurs de pollutions sont également multiples. Parmi ces différentes sources de pollution nous pouvons citer : les déjections des animaux dans le lac qui peuvent être une source de pollution microbiologique, le rejet des eaux de drainage des unités industrielles qui peut entraîner une pollution chimique. Cependant dans le cadre de notre sujet nous nous limiterons à la pollution d'origine agricole des eaux du lac. L'activité agricole utilise beaucoup de produits potentiellement polluants pour les eaux comme les engrais et les produits phytosanitaires.

3.1.1. Salinité du lac

Des données faisant état de la situation de la salinité sur une longue durée (1972-1998) montrent une nette tendance à la baisse des taux de sel. Ceci s'explique par les effets de la mise en eau du barrage de Diama qui retient la langue marine salée à partir de 1986. Nous notons qu'avant 1986 les valeurs de la salinité dépassaient régulièrement les 500mg/l avec des pics de plus de 1250 mg/l (1980 et 1983), alors que, après la mise en service du barrage, le niveau de salinité diminue d'années en années pour finir par ne plus atteindre la valeur de 500mg/l à partir de 1994. Les fluctuations de la salinité dans le lac ont continué mais les écarts entre les valeurs maximales et minimales sont moins grands.

3.1.2. Présence de pesticides dans l'eau

Lors des différentes études sur l'évaluation de la qualité des eaux du lac, 27 composants actifs ont été recherchés dans 11 échantillons d'eaux à 11 points de prélèvements et 10 échantillons de poissons à 10 points de prélèvement prélevés dans le lac (cf Annexe 1). Ce qui a fait un total de 297 résultats d'analyses possibles pour la matrice d'eau et 290 résultats possibles pour la matrice poisson.

Le tableau 3 donne la liste des principes actifs recherchés dans l'eau du lac et dans les poissons.

Tableau 3 : Liste des principes actifs recherchés

| | Molécule recherchée | Famille | Activité Biologique | AUTORISATION Par CSP |
|-----|---------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | Aldrine | Organochloré | Insecticide | NON |
| 2 | Bifenthrine | Pyréthroïdes de synthèse | Insecticide | NON |
| 3 | Chlorothalonil | Isophtalonitrile | Fongicide | NON |
| 4 | Chlorpyrifos | Organophosphoré | Insecticide | OUI |
| 5 | Cyperméthrine | Pyréthroïdes de synthèse | Insecticide | OUI |
| 6 | DDT | Organochloré | Insecticide | NON |
| 7 | Deltaméthrine | Pyréthroïdes de synthèse | Insecticide | OUI |
| 8 | Dicofol | Organochloré | Acaricide | NON |
| 9 | Dieldrine | Organochloré | Insecticide | NON |
| 10 | Diméthoate | Organophosphoré | Insecticide | NON |
| 11 | Endosulfan | Organochloré | Insecticide | NON |
| 12 | Endrine | Organochloré | Insecticide | NON |
| 13 | Fénitrothion | Organophosphoré | Insecticide | OUI |
| 14 | Heptachlore | Organochloré | Insecticide | NON |
| 15 | L-Cyhalothrine | Pyréthroïdes de synthèse | Insecticide | OUI |
| 16 | Lindane | Organochloré | Insecticide | NON |
| 17 | Malathion | Organophosphoré | Insecticide | OUI |
| 18 | Me-Parathion | Organophosphoré | Insecticide | NON |
| 18' | Me-Pyrimiphos | Organophosphoré | Insecticide | OUI |
| 19 | Oxadiazon | Oxadiazole | Herbicide | OUI |
| 20 | Propanil | Anilides | Herbicide | OUI |
| 21 | Trifluraline | Toluidines | Herbicide | NON |
| 22 | Acétamipride | Neonicotinoïde | Insecticide | OUI |
| 23 | Acéphate | Organophosphoré | Insecticide | NON |
| 24 | Carbofuran | Carbamate | Insecticide | NON |
| 25 | Méthamidophos | Organophosphoré | Insecticide | NON |
| 26 | Parathion-éthyle | Organophosphoré | Insecticide | NON |
| 27 | Triazophos | Organophosphoré | Insecticide | NON |

Source : OLAG

Les résultats de l'étude d'évaluation de l'eau ont donnés :

Pour l'eau, sur les 297 résultats d'analyses obtenus, 10 sont positifs avec :

- la Trifluraline : trouvée à 0,65 µg/l à P01 ; site de la station de Pompage de la CSS de Richard Toll ;
- le couple Parathion Méthyle-Pyrimiphos Méthyle (PM-PM) retrouvé à 5 endroits, il s'agit de P02 station X6 de rejet de la CSS (0,11 µg/l), de P03 arrivée de la Taouey au lac (0,18 µg/l), de P05 la station de mesures de Saninthe (0,10 µg/l), du Bas-Ferlo à 3000m de l'ouvrage de Guéou (0,15 µg/l).
- le Méthamidophos qui a été trouvé à des concentrations de 13,30 µg/l à P01, P02 (8,93 µg/l), et P03 (0,23 µg/l). Il est aussi trouvé à 0,15 µg/l en amont de l'ouvrage de Guéou.
- le Parathion avec une présence à 5,65 µg/l à la station de Pompage de la CSS.

Pour la matrice poisson, il y a 13 résultats positifs sur les 270 obtenus. Ces résultats concernent huit molécules réparties sur 7 sites. Il s'agit :

- du Malathion (1,11 et 0,26 mg/kg sur les sites P01 et P06),
- de l'Endrine (0,04 mg/kg sur le site P05 de la station de mesures de Saninthe),
- de la Trifluraline (0,08 ; 0,07 ; 0,09 ; 0,21 mg/kg respectivement sur les sites P03, P04, P05 et P07),
- du couple PM-PM (0,05 mg/kg sur le site P07),
- de l'Acéphate (0,11 mg/kg),
- de l'Acétamipride (1,16 mg/kg) du Parathion Ethyle (0,31 mg/kg) tous trois sur le site P07,
- du méthamidophos (2,75 mg/kg) sur le P11.

Il est à noter que les résultats obtenus sur les poissons ne peuvent être corrélés aux lieux de prélèvement du fait de leur mobilité, mais aussi du fait que, pour la plupart, ces échantillons ont été prélevés sur des pêcheurs en mouvement.

3.1.3. Présence de nutriments dans l'eau

L'azote et le phosphore sont tous deux des nutriments. Une suralimentation du lac en nutriments pourrait engendrer une eutrophisation du lac. L'origine des nutriments est souvent agricole, car étant des constituants obligés des engrais, mais aussi des rejets des animaux. L'azote et le phosphore peuvent se présenté sous plusieurs formes.

Plus précisément l'azote peut se retrouver sous forme d'azote organique, d'azote ammoniacal (NH_4^+), de nitrates (NO_3^-) ou de nitrites (NO_2^-). L'azote total représente la somme de l'azote sous toutes ses formes :

$$N_{\text{tot}} = N_{\text{NH}_4^+} + N_{\text{org}} + N_{\text{NO}_3^-} + N_{\text{NO}_2^-}$$

Les mises à jour récentes (juin 2015), des données obtenues par le dispositif de suivi hygrométrique installé en 2014 ont donné en moyenne un niveau de nitrates à 0,25 mg/l et un niveau de nitrites presque nul. L'azote ammoniacal est décelé à 1,03 mg/l.

Le phosphore se présente sous deux formes : le phosphore organique et le phosphore inorganique (ou minéral) qui peuvent être dissous ou non dans l'eau.

Le phosphore organique est en général constitué des phosphores lipides, des esters, des polynucléotides, ATP, ADP...Le phosphore inorganique est essentiellement constitué des polyphosphates et des ortho-phosphates.

Par analogie à l'azote total le phosphore total est la somme de toutes les formes de phosphore :

$$P_{tot} = P_{org} + P_{inorg}$$

Les derniers chiffres dont nous disposons sur les substances phosphorés remontent à septembre 2014. Ainsi le taux de phosphore total mesuré durant cette période a oscillé entre 0 et 0,21 mg/l.

3.1.4. Discussion

En ce qui concerne les nutriments, nous remarquons que les niveaux atteints sont faibles par rapport à la norme sénégalaise de rejet des eaux usées. En effet, le seuil autorisé pour l'azote total est de 30 mg/l alors que le niveau d'azote total décelé est inférieur à 3 mg/l. De même le phosphore total décelé lors des études de 2002, 2006, et plus récemment lors des mesures de 2014 est toujours inférieure à 0.5 mg/l tandis que la norme sénégalaise fixe le seuil à 10 mg/l.

La réglementation pour l'utilisation d'une eau (directive européenne) pour la production d'eau potable stipule que les teneurs maximales en nitrates et ammonium sont respectivement de 50 mg/l et 4 mg/l. Par conséquent pour ces deux critères les eaux du lac sont aptes à être utilisées pour la production d'eau potable. Par contre l'eau du lac constitue un réel danger pour les habitants riverains qui la consomment sans traitement préalable en considérant les recommandations de l'OMS. Par exemple pour le critère ammonium l'OMS recommande une teneur maximale de 0,5 mg/l alors que les teneurs atteignent plus de 1mg/l.

La norme sénégalaise de rejet des eaux en vigueur ne contient à l'heure actuelle aucune spécification concernant les niveaux autorisés de pesticides dans les eaux de rejets. Néanmoins, pour les eaux de surface faisant l'objet d'une exploitation pour la production d'eau potable, il est en général recommandé pour les pesticides de considérer une valeur maximale de 5 µg/l pour le total du triplet Parathion, Hexachlorocyclohexane HCH (Lindane) et Dieldrine. Nous remarquons qu'à la station de pompage de la CSS, ce critère n'est pas respecté rien qu'en ne considérant que le

Parathion (5,65 µg/l). De plus le Parathion est classé 1a (extrêmement dangereux) par l'OMS et fortement réglementé par les conventions de Stockholm¹ et de Rotterdam² (maximum à 0.03 mg/l). Le couple parathion méthyle-Pyrimiphos méthyle est présent dans 5 sites sur 11 à des teneurs variant de 0,1 à 0,18 µg / litre donc pas très loin de la norme d'eau potable de 0,1 µg m.a./litre édictée par la directive Union Européenne N°98/83/CE du 3/11/98 (JOCE 1998). Pour la plupart, les points concernés sont en zone périphérique en bordure des périmètres de cultures maraîchères ou rizicoles où le parathion bien que non homologué par l'autorité sahéenne compétente est susceptible d'être utilisé dans la lutte contre les ravageurs des cultures. La solubilité du parathion méthyle et du pyrimiphos-méthyle, entre 11 et 55 mg /litre, est un facteur favorisant leur accumulation dans les eaux périphériques par effet de ruissellement. Ce couple de pesticides est aussi retrouvé au point 10 du Bas Ferlo à 3 km de l'ouvrage de Guéou à une teneur de 0,15 µg / l. Ce point a le triple caractéristique d'être un point périphérique dû à l'étroitesse du canal de la Taouey à ce niveau, un point envahi par le typha et recevant les effets de fortes évaporations. Cependant, il faut noter qu'aucun test sur l'eau n'a été positif au point P07 qui est la station de traitement d'eau potable de Gnith, et au point P08 qui correspond au point le plus éloigné des berges.

3.2. Solution proposée

Pour gérer les problèmes de pollution de notre zone d'étude, nous proposons de raccorder les réseaux de drainages existants à l'émissaire du Delta. Pour ce faire, les eaux de drainage de la zone nord seront collectées au niveau de la grande mare, puis évacuées par un chenal qui sera connecté à la branche A de l'émissaire du Delta (figure 4).

Le système d'évacuation est divisé en trois parties.

Tronçon 1 : C'est la section qui récupérera les eaux de drainage venant des casiers sucriers de la CSS, ainsi que des périmètres de Thiago et Ndombo. La superficie totale concernée sera de 6928 ha. Son tracé va du début du canal jusqu'au point de raccordement avec les drains d'évacuation des eaux des rizières de Pakh et Colonat. Cette partie aura comme point de départ la grande mare de la CSS qui servira de réceptacle commun aux stations de la CSS ainsi qu'aux drains des périmètres de Ndombo et Thiago parce qu'elle constitue une zone dépressionnaire inexploitable pour l'agriculture, et servant au besoin de bassin de décantation pour certaines pour la CSS.

¹ Convention sur les polluants organiques persistants (POPs)

² PIC : Procédure d'Information et de Consentement Préalable

Tronçon 2 : C'est la partie du canal, allant du point de raccordement jusqu'à l'émissaire du Ndiael. Elle devra acheminer le débit de drainage venant de périmètre de la première partie en plus des débits découlant des périmètres de Pakh et Colonat (1750 ha). Ceci portera la superficie à 8678 ha.

Tronçon 3 : C'est la dernière partie du canal, elle ira de l'émissaire du Ndiael jusqu'au point de jonction avec la branche A de l'émissaire du Delta. Cette partie du canal devra évacuer les débits provenant de l'amont en plus du débit de drainage des périmètres de la SAED déversant initialement au niveau du Ndiael (4054 ha). La superficie totale drainée sera de 12732 ha.

Tracé du canal

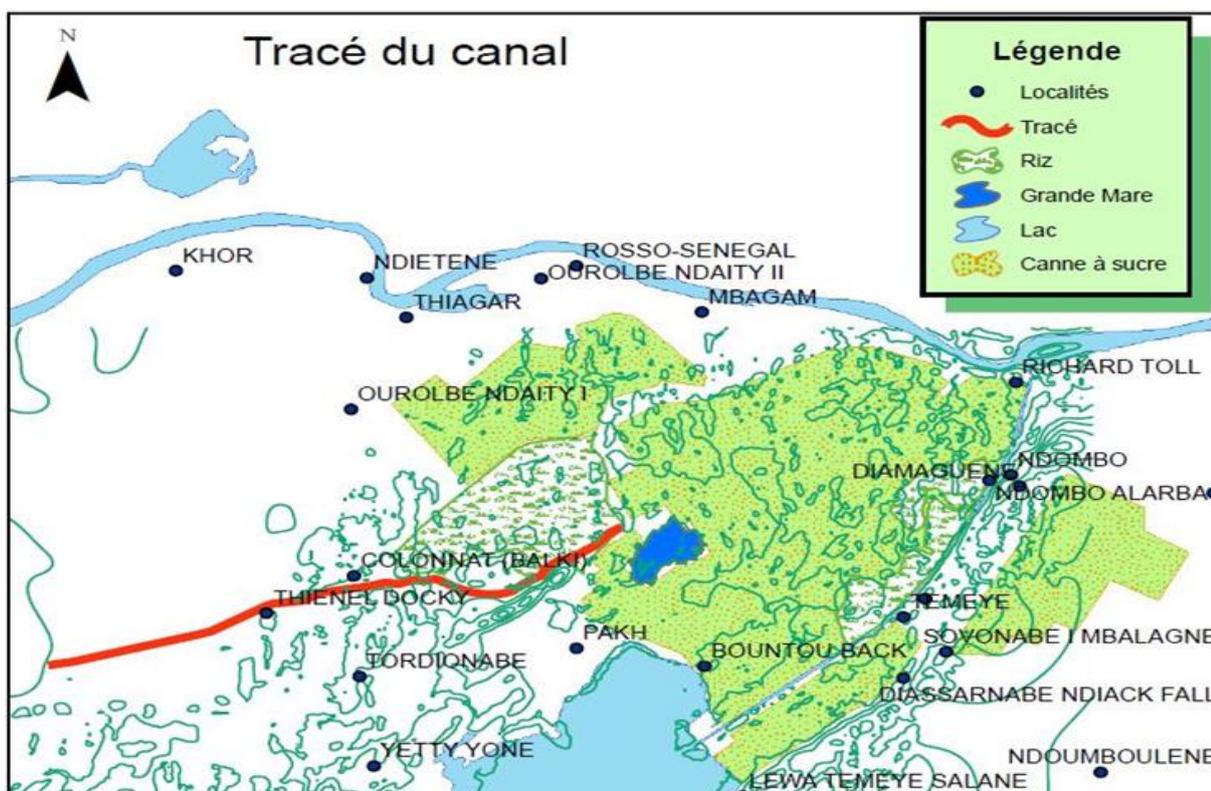


Figure 4 : Tracé du canal

La figure 5 schématise le système d'évacuation des eaux.

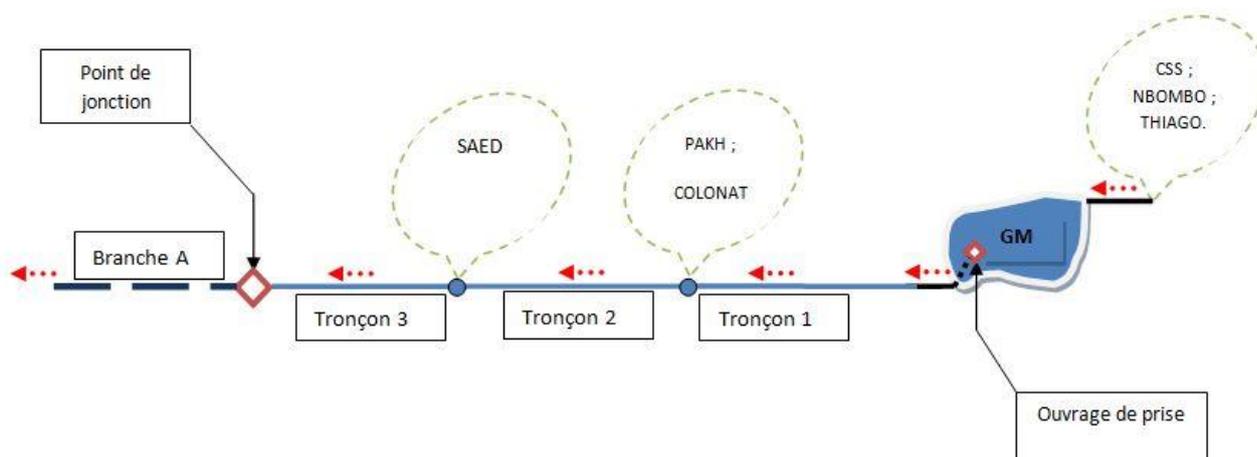


Figure 5 : Système d'évacuation des eaux

3.3. Détermination des débits de pointe

Dans un projet similaire comportant un réservoir de stockage, le débit de dimensionnement dans les canaux peut être influencé par plusieurs facteurs que sont la pluie, le drainage de colature, l'infiltration, les interactions avec la nappe, l'évaporation et le volume d'eau stocké.

Pour la pluie ruisselée nous allons considérer la valeur de 2l/s/ha recommandée à laquelle nous appliquerons un coefficient de ruissellement. Dans le cas de terres agricoles drainées le coefficient de ruissellement peut être pris dans l'intervalle 0,05 à 0,13 (Satin, Selmi, 1999). Nous adopterons la valeur maximale qui est 0,13. Ainsi la pluie ruisselée sera de 0,26 l/s/ha.

$$q_{\text{ruisselée}} = 0,26 \text{ l/s/ha}$$

La pluie directe sur le bassin de la mare sera prise à 25 mm/j d'où un débit correspondant de 2,9 l/s/ha.

$$q_{\text{direct}} = 2,9 \text{ l/s/ha}$$

Le débit de base de drainage conformément aux recommandations de l'étude d'APS sera de 0,5 l/s/ha.

$$q_{\text{colature}} = 0,5 \text{ l/s/ha}$$

Les lits des dépressions de la zone sont constitués de ce qu'on appelle en terminologie vernaculaire de sols « *hollaldé* ». Ce sont des sols lourds avec une teneur en argile d'environ 66 %. Ils sont formés par l'accumulation de dépôts fluviaux lors de la décantation des eaux de crue. Ainsi ils ont une faible perméabilité d'où leurs appréciation pour la culture du riz. Par conséquent l'infiltration au niveau de la grande mare sera négligée dans ce bilan d'eau.

L'évaporation est très importante dans la zone car tournant en moyenne autour de 7mm/j, correspondant à un débit de 0,81 l/s/ha.

$$q_{\text{évap}} = 0,81 \text{ l/s/ha}$$

Les informations sur une éventuelle interconnexions des eaux de surfaces et de la nappe sont très limitées. Mais du fait de la nature argileuse du lit, nous considérons qu'il n'y a pas d'échange d'eau. Par conséquent le flux d'eau venant du sous-sol sera considéré comme nul.

Les tableaux 4, 5, et 6 résument respectivement le calcul des débits sur les tronçons 1,2 et 3.

Tableau 4 : Calcul du débit dans le tronçon 1

| TRONCON 1 | | | |
|------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| Pluie ruisselée | Superficie | ha | 6928,00 |
| | Débit | l/s/ha | 0,26 |
| | | m ³ /s | 1,80 |
| | Volume correspondant | m ³ | 155630,59 |
| Drainage | Superficie | ha | 6928,00 |
| | Débit | l/s/ha | 0,50 |
| | | m ³ /s | 3,46 |
| | Volume correspondant | m ³ | 299289,60 |
| Pluie sur le plan d'eau de la mare | Superficie | ha | 162,22 |
| | Débit | l/s/ha | 2,90 |
| | | m ³ /s | 0,47 |
| | Volume correspondant | m ³ | 40645,84 |
| Evaporation | Superficie | ha | 162,22 |
| | Débit | l/s/ha | 0,81 |
| | | m ³ /s | 0,13 |
| | Volume correspondant | m ³ | 11352,80 |
| Stockage | Volume correspondant | | 300000,00 |
| Fuite | Volume correspondant | m ³ | 184213,23 |
| | Débit (Théorique) | m ³ /s | 2,13 |

Tableau 5 : Calcul du débit dans le tronçon 2

| TRONCON 2 | | | |
|------------------------------------|----------------------|-------------------|----------|
| Pluie ruisselée | Superficie | ha | 1750,00 |
| | Débit | l/s/ha | 0,26 |
| | | m ³ /s | 0,46 |
| | Volume correspondant | m ³ | 39312,00 |
| Drainage | Superficie | ha | 1750,00 |
| | Débit | l/s/ha | 0,50 |
| | | m ³ /s | 0,88 |
| | Volume correspondant | m ³ | 75600,00 |
| Pluie sur le plan d'eau de la mare | Superficie | ha | 0,00 |
| | Débit | l/s/ha | 2,90 |
| | | m ³ /s | 0,00 |

| | | | |
|-------------|----------------------|-------------------|-------------|
| | Volume correspondant | m ³ | 0,00 |
| | Superficie | Ha | 0,00 |
| Evaporation | Débit | l/s/ha | 0,81 |
| | | m ³ /s | 0,00 |
| | Volume correspondant | m ³ | 0,00 |
| Stockage | Volume correspondant | m ³ | 0,00 |
| Fuite | Volume correspondant | m ³ | 114912,00 |
| | Débit (Théorique) | m ³ /s | 1,33 |

Tableau 6 : Calcul du débit dans le tronçon 3

| TRONCON 3 | | | |
|------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| | Superficie | Ha | 4054,00 |
| Pluie ruisselée | Débit | l/s/ha | 0,26 |
| | | m ³ /s | 1,05 |
| | Volume correspondant | m ³ | 91069,06 |
| | Superficie | Ha | 4054,00 |
| Drainage | Débit | l/s/ha | 0,50 |
| | | m ³ /s | 2,03 |
| | Volume correspondant | m ³ | 175132,80 |
| | Superficie | Ha | 0,00 |
| Pluie sur le plan d'eau de la mare | Débit | l/s/ha | 2,90 |
| | | m ³ /s | 0,00 |
| | Volume correspondant | m ³ | 0,00 |
| | Superficie | Ha | 0,00 |
| Evaporation | Débit | l/s/ha | 0,81 |
| | | m ³ /s | 0,00 |
| | Volume correspondant | m ³ | 0,00 |
| Stockage | Volume correspondant | m ³ | 0,00 |
| Fuite | Volume correspondant | m ³ | 266201,86 |
| | Débit (Théorique) | m ³ /s | 3,08 |

Le tableau 7 donne les débits cumulés sur chaque tronçon.

Tableau 7 : Débits cumulés dans les tronçons

| | Débit propre à chaque tronçon (m ³ /s) | Débit cumulé (m ³ /s) |
|-----------|---|----------------------------------|
| Tronçon 1 | 2,13 | 2,13 |
| Tronçon 2 | 1,33 | 3,46 |
| Tronçon 3 | 3,08 | 6,54 |

3.4. Dimensionnement des canaux

- **Paramètres géométriques et hydrauliques du canal**

- pente du canal : elle sera uniforme sur toute la longueur du canal et sera la même que sur la branche A, donc $I = 0,01\%$;
- fruit de berge : il sera pris à $m = 2/1$;
- longueur du canal $L = 17401$ ml ;
- rugosité : comme au niveau la branche A le canal ne sera pas revêtu donc le coefficient de Strickler sera fixé à $K_s = 35$;

- **Contraintes**

- Sur la vitesse d'écoulement de l'eau : dans le canal la vitesse devra être comprise entre 0,2 et 0,7 m/s.
- Sur la pente : la pente devra rester uniforme tout le long du canal pour éviter les phénomènes transitoires ou un écoulement non permanent.
- Sur le calage du canal : la côte de la ligne d'eau devra se situer minimum à 35 cm en dessous du terrain naturel au niveau des points les plus bas.

- **Calcul des sections des tronçons**

Le tableau 8 donne les dimensions calculées des canaux de chaque tronçon avec la formule de Manning Strickler (formule (5)).

Tableau 8 : Dimensions des canaux

| TRONCON | Tirant d'eau y (m) | Largeur au plafond b (m) | Revanche r (m) | Largeur miroir B (m) | Hauteur du canal h (m) | Vitesse U (m/s) |
|-----------|-----------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|
| TRONCON 1 | 1,27 | 3,00 | 0,35 | 8,07 | 1,62 | 0,30 |
| TRONCON 2 | 1,61 | 3,00 | 0,35 | 9,44 | 1,96 | 0,35 |
| TRONCON 3 | 2,18 | 3,00 | 0,35 | 11,72 | 2,53 | 0,41 |

Pour des raisons d'uniformité de section et de facilité de réalisation, nous adopterons un débit uniforme de $Q_2 = 3,46 \text{ m}^3/\text{s}$ pour les deux premiers tronçons (jusqu'au point PK0069) à 3,45 km du début du canal, correspondant au point de connexion des drains des casiers de Pakh et Colonat. A partir de ce point le débit considéré sera pris égal à $Q_3 = 6,54 \text{ m}^3/\text{s}$. Le tableau 9 montre les caractéristiques de l'ouvrage réalisé.

Tableau 9 : Dimension des canaux après uniformisation des débits

| TRONCON | Tirant d'eau y (m) | Largeur au plafond b (m) | Revanche r (m) | Largeur miroir B (m) | Hauteur du canal h (m) | Vitesse U (m/s) |
|---------------|--------------------|--------------------------|----------------|----------------------|------------------------|-----------------|
| PK0000-PK0068 | 1,61 | 3,00 | 0,35 | 9,44 | 1,96 | 0,35 |
| PK0069-PK0349 | 2,18 | 3,00 | 0,35 | 11,72 | 2,53 | 0,41 |

- **Calage des canaux**

Pour le calage nous avons divisé le canal en 6 parties en tenant compte de la topographie. Le calage de chaque partie se fait à partir du point le plus défavorable, c'est-à-dire le point le plus bas. Ensuite les côtes des points de départ et d'arrivée de chaque partie se calcul en tenant compte de la pente et de la distance. Le tableau 10 résume le calage de chaque partie.

Tableau 10 : Calage des canaux

| Calage partie 1 | | | | | |
|------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Côte TN min (m IGN) | Côte ligne d'eau min (m IGN) | Côte ligne d'eau amont (m IGN) | Côte Radier amont (m IGN) | Côte ligne d'eau aval (m IGN) | Côte radier aval (m IGN) |
| PK0068 | PK0068 | PK0000 | PK0000 | PK0080 | PK0080 |
| -0,59 | -0,94 | -0,6 | -2,21 | -1 | -2,61 |
| Calage partie 2 | | | | | |
| PK0108 | PK0108 | PK0081 | PK0081 | PK0120 | PK0120 |
| -0,29 | -0,64 | -0,505 | -2,685 | -0,7 | -2,88 |
| Calage partie 3 | | | | | |
| PK0130 | PK0130 | PK0121 | PK0121 | PK0160 | PK0160 |
| 0,57 | 0,22 | 0,265 | -1,915 | 0,07 | -2,11 |
| Calage partie 4 | | | | | |
| PK0162 | PK0162 | PK0161 | PK0161 | PK0240 | PK0240 |
| 0,39 | 0,04 | 0,43 | -1,75 | 0,035 | -2,145 |
| Calage partie 5 | | | | | |
| PK0241 | PK0241 | PK0241 | PK0241 | PK0281 | PK0281 |
| 0,45 | 0,1 | 0,1 | -2,08 | -0,1 | -2,28 |
| Calage partie 6 | | | | | |
| PK0282 | PK0282 | PK0282 | PK0282 | PK0349 | PK0349 |
| 0,9 | 0,55 | 0,55 | -1,63 | 0,215 | -1,965 |

Nous notons qu'après le calage de chaque partie, il est nécessaire de faire des décrochements du fond du canal entre les PK0120 et PK0121, entre les PK0160 et PK0161 et entre les PK0281 et PK0282.

- **Etude des décrochements de canal**

Pour l'étude des décrochements, nous allons calculer la hauteur maximal du décrochement permis par la charge spécifique de l'eau et la comparer aux décrochement requis sur chacune des 3 parties devant en faire l'objet.

Le tableau 11 donne la hauteur d'exhaussement requis sur les parties PK0120-PK0121, PK0160-PK0161 et PK0281-PK0282.

Tableau 11 : Hauteurs d'exhaussement requis

| PK | Côte Radier (m IGN) | Décrochement requis (m) |
|--------|---------------------|-------------------------|
| PK0120 | -2,11 | 0,36 |
| PK0121 | -1,75 | |
| PK0160 | -2,145 | 0,065 |
| PK0161 | -2,08 | |
| PK0281 | -2,28 | 0,65 |
| PK0282 | -1,63 | |

Le tableau 12 résume le calcul du tirant d'eau critique obtenu à l'aide de la formule (17).

Tableau 12 : Calcul du tirant d'eau critique

| y_c (m) | Q (m ³ /s) | L (m) | S (m ²) | $y_m = \frac{S}{L}$ (m) | $S \cdot \sqrt{y_m}$ | $\frac{Q}{\sqrt{g}}$ |
|-----------|-----------------------|-------|---------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| 0,67 | 6,54 | 5,69 | 2,92 | 0,51 | 2,09 | 2,09 |

Le tableau 13 donne la hauteur de l'exhaussement maximale du canal obtenu à l'aide de la formule (14).

Tableau 13 : Calcul de la hauteur d'exhaussement maximale

| y_1 (m) | y_c (m) | H_{s1} (m) | H_{s2} (m) | H_{sc2} | Δ_z (m) |
|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|----------------|
| 2,18 | 0,67 | 2,19 | 0,94 | 0,93 | 1,25 |

Nous trouvons un exhaussement maximal disponible de $\Delta_z = 1,25$ m. Nous remarquons que la valeur de Δ_z est supérieure à toute les valeurs de décrochement requis, ainsi ces exhaussements de fond du canal ne poseront pas de problèmes sur le plan de l'écoulement.

Cependant, pour éviter une stagnation des eaux en cas de débits faibles, il est recommandé de ne pas excéder 15 cm d'exhaussement. Par conséquent, pour les parties nécessitant un exhaussement, nous répartirons la hauteur de l'exhaussement.

- **Adaptation de la section de la branche A**

Au final la branche A de l'émissaire de drainage devra encaisser le débit induit par le prolongement en plus du débit qu'elle écoulait initialement. Le tableau 14 résume le calcul de la section finale de la branche A qui se fait à l'aide de la formule de Manning Strickler.

Tableau 14 : Adaptation de la section de la branche A

| TRONCON | Tirant d'eau y (m) | Largeur au plafond b (m) | Revanche r (m) | Largeur miroir B (m) | Hauteur du canal h (m) | Vitesse U (m/s) |
|--------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|
| BRANCHE A | 2,83 | 3,00 | 0,35 | 14,31 | 3,18 | 0,47 |

3.5. Dimensionnement de l'ouvrage de stockage et de l'ouvrage de vidange

3.5.1. Réservoir de stockage

- **Capacité maximale**

Pour déterminer la capacité maximale de la grande mare, nous avons essayé de construire la courbe volume hauteur du réservoir à partir des données de surface et des côtes (figure 6). Le tableau 15 détaille le calcul du volume de la retenue.

Tableau 15 : Volume cumulé en fonction de la côte

| | Côtes (m IGN) | Surface (ha) | Hauteur (m) | Surface Moyenne (ha) | Volume Elémentaire (m ³) | Volume cumulé (m ³) |
|-----------------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Cote fond | -2,70 | 0,00 | 0,4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cote fond+ 0,4m | -2,32 | 3,14 | 0,4 | 1,57 | 5686,67 | 5686,67 |
| Cote fond + 0,8m | -1,96 | 22,92 | 0,4 | 13,03 | 49774,95 | 55461,62 |
| Cote fond + 1,2m | -1,58 | 57,00 | 0,4 | 39,96 | 144659,67 | 200121,29 |
| Cote fond+ 1,6m | -1,21 | 88,04 | 0,4 | 72,52 | 277032,97 | 477154,27 |
| Cote fond+ 2m | -0,83 | 133,10 | 0,4 | 110,57 | 421263,27 | 898417,55 |
| Cote fond + 2,4m | -0,45 | 191,33 | 0,4 | 162,22 | 588842,54 | 1487260,09 |

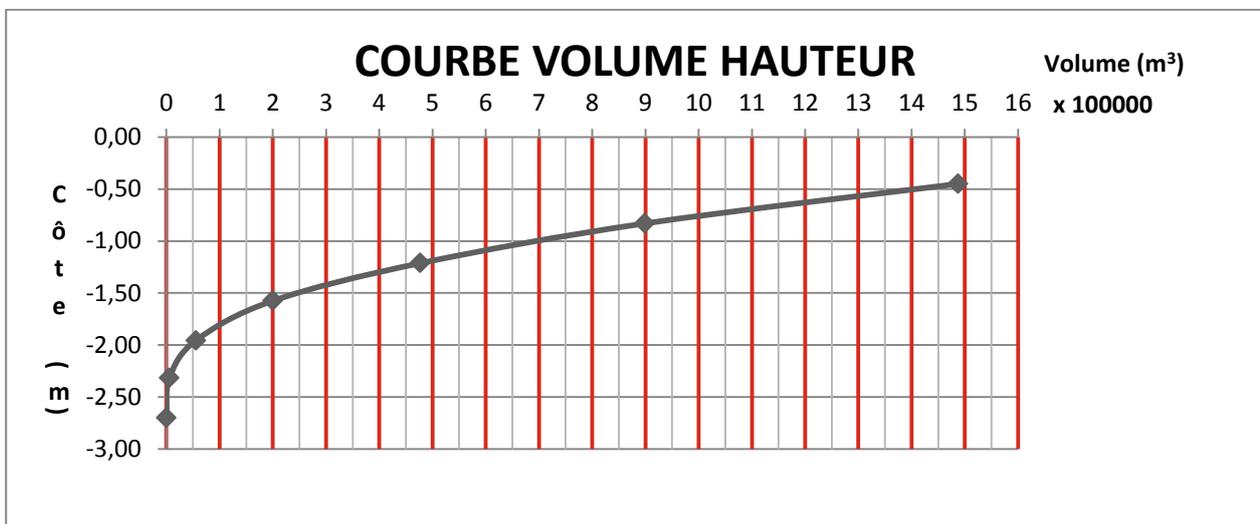


Figure 6 : Courbe Volume Hauteur

Sans endiguement, la grande mare pourrait contenir un volume de 1 487 260,1 m³ sur une superficie de 162,22 ha et avec une hauteur d'eau maximale de 2,4 m (côte 0,5m IGN).

- **Volume d'eau stocké et débit d'évacuation**

Le volume d'eau stocké dans le réservoir dépend de la côte de calage de la prise de vidange. En général le volume d'eau à stocker dans un réservoir est déterminé par les méthodes simplifiées telles que la méthode des pluies ou la méthode des volumes. L'utilisation de ces méthodes suppose l'utilisation de données pluviométriques dont nous ne disposons pas. De plus, les contraintes liées à la superficie à inonder pour le stockage sont telles que nous éviterons de dépasser 50 ha à la côte de vidange. La prise sera calée ainsi à -1,4 m IGN qui permettra de stocker 300000 m³.

3.5.2. Ouvrage de vidange

- **Dimensionnement de la prise**

Le débit total maximal à évacuer est de $Q = 2,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce débit sera évacué par trois prises d'eau de même section. Par conséquent le débit évacuer par chaque prise sera de $q = 0,71 \text{ m}^3/\text{s}$.

Connaissant le débit à évacuer, la section théorique de l'orifice est donnée par la formule (7). Nous obtenons une section d'orifice de 0,31 m² (tableau 16).

Tableau 16 : Calcul de la section de chaque orifice

| Q (m ³ /s) | m | g (m ² /s) | Δ_h (m) | S (m ²) |
|-----------------------|------|-----------------------|----------------|---------------------|
| 0,71 | 0,55 | 9,81 | 0,9 | 0,31 |

- **Dimensionnement des conduits en fontes**

Le tableau 17 résume le calcul du diamètre théorique à partir de la section théorique de la conduite et avec la formule (10).

Tableau 17 : calcul du diamètre théorique des conduites

| M | S _{théo 1} (m ²) | g (m ² /s) | h (m) | Q _{théo1} (m ³ /s) | U (m/s) | S _{théo2} (m ²) | Q _{théo2} (m ³ /s) | Q1-Q2 |
|------|---------------------------------------|-----------------------|-------|--|---------|--------------------------------------|--|-------|
| 0,55 | 0,31 | 9,81 | 0,9 | 0,716 | 2,311 | 0,31 | 0,716 | 0 |

Le tableau 18 donne le calcul et le choix du diamètre des conduites en fonte.

Tableau 18 : Calcul et choix du diamètre des conduites

| U _{théo} (m/s) | q _{théo} (m ³ /s) | D _{théo} (m) | DN | U _{réel} (m/s) |
|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-------|-------------------------|
| 2,31 | 0,71 | 0,63 | 0,600 | 2,51 |

Ainsi nous aboutissons à un diamètre de $D = 600 \text{ mm}$.

3.6. Estimation du coût des ouvrages

3.6.1. Devis quantitatif

- **Canal**

Débroussaillage de l'emprise

Le canal sera débroussaillé sur toute sa longueur en considérant un débord de 10 m de part et d'autre en plus de son emprise. Le débroussaillage concernera ainsi une superficie totale de :

$$S_{\text{débrousaillée}} = 551\,196 \text{ m}^2.$$

Calcul des cubatures

Avec un fruit de berge de $m = 2$, et une largeur au plafond de 3, le volume d'une tranche de notre canal entre deux point P1 et P2 est approximé par la formule simplifiée suivante :

$$V_{\text{déblais}} = S_{\text{moy}_\text{déblais}}(h) * \Delta L_{P1_P2}$$

Avec ΔL_{P1_P2} la distance entre P1 et P2 ; $S_{\text{moy}_\text{déblais}}$ la surface de la section moyenne de déblais.

$$S_{\text{déblais}}(h) = 2 \cdot h^2 + 3 \cdot h \text{ dans notre cas}$$

$$\text{Au point P1, } S_{1_déblais} = 2 \cdot h_1^2 + 3 \cdot h_1$$

$$\text{Au point P2, } S_{2_déblais} = 2 \cdot h_2^2 + 3 \cdot h_2$$

$$S_{\text{moy}_\text{déblais}}(h) = \left(\frac{S_{1_déblais} + S_{2_déblais}}{2} \right)$$

La hauteur de déblais est donnée par :

$$h = \text{Côte TN} - \text{Côte Radier}$$

Pour obtenir le volume total des déblais, il suffit alors de faire le cumul des volumes calculés.

Après calcul nous obtenons un volume total des déblais de :

$$V_{\text{total}_\text{déblais}} = 527\,150 \text{ m}^3.$$

- **Ouvrage de vidange**

Béton de propreté dosé à 150 Kg/m³

Pour le béton de propreté nous allons considérer une épaisseur forfaitaire de 10 cm, sous l'emprise des ouvrages en béton armé. Ainsi le volume total de béton de propreté dosé à 150 Kg/m³ sera de :

$$V_{BP} = 4,215 \text{ m}^3$$

Béton armé dosé à 350 kg/m³

Le volume total de béton armé dosé à 350 Kg/m³ sera de :

$$V_{BA} = 17,145 \text{ m}^3$$

Remblais

Le volume total des remblais sera de :

$$V_R = 137,75 \text{ m}^3$$

3.6.2. Devis estimatif

Avec les ouvrages de prise et les ouvrages annexes le coût final du projet est estimé à 1 669 523 910 FCA, soit 98 207 289 FCFA par kilomètre. Le tableau 19 donne le détail des prix.

Tableau 19 : Détermination du coût des ouvrages

| N | Désignation | Unités | Quantité | Prix Unitaire en F CFA | Prix total en F CFA |
|---------------------------------------|--|----------------|----------|------------------------|---------------------|
| INSTALLATION DE CHANTIER | | | | | |
| 100 | 1 Installation de chantier et remise en état des lieux | FF | FF | FF | 15000000 |
| | 2 Amenée et repli matériel | FF | FF | FF | 15000000 |
| SOUS TOTAL SERIE 100 | | | | | 30000000 |
| REALISATION DU CANAL | | | | | |
| 200 | 1 Débroussaillage de l'emprise | m ² | 551196 | 100 | 55119600 |
| | 2 Déblai en grande masse | m ³ | 527150 | 2 300 | 1212445000 |
| | 3 Ouvrages annexes | FF | 20 | % | 253512920 |
| SOUS TOTAL SERIE 200 | | | | | 1521077520 |
| CONSTRUCTION OUVRAGES DE PRISE | | | | | |
| 300 | 1 Déblais en grande masse | m ³ | 382 | 1250 | 477500 |
| | 2 Béton de propreté dosé à 150 Kg/m ³ | m ³ | 4,215 | 80000 | 337200 |
| | 3 Béton armé dosé à 350 Kg/ m ³ | m ³ | 17,145 | 150000 | 2571750 |
| | 4 Gabion pour coursier en cascade | m ³ | 20,25 | 55000 | 1113750 |
| | 5 Conduite en fonte DN 600 | Unités | 9 | 525000 | 4725000 |
| SOUS TOTAL SERIE 300 | | | | | 9225200 |
| DIVERS | | | | | |
| 1 | Etudes | FF | % | 7 | 109221190,4 |
| TOTAL TTC | | | | | 1669523910 |

IV. Conclusion et recommandations

Au terme de cette étude, nous avons pu aborder différents points concernant la pollution des eaux du lac de Guiers en général, et de la pollution d'origine agricole de ces eaux en particulier.

Ainsi après un diagnostic sommaire, nous avons constaté une contamination par divers substances des eaux. Des études menées sur la composition et la qualité de l'eau du lac nous permettent de noter une présence de nutriments, notamment l'azote et le phosphore, mais également de pesticides. Pour les nutriments que sont l'azote et le phosphore les teneurs retrouvées chez chacun d'eux permettent leur exploitation pour la production d'eau potable selon les directives de l'Union Européenne. Cependant les eaux peuvent constituées un réel danger pour les populations qui la consomment à l'état brute. Pour exemple, nous prendrons le cas de l'azote ammoniacal décelé à 1,03 mg/l alors que l'OMS recommande une teneur maximal de 0,5 mg/l.

Une pollution aux nutriments peut avoir plusieurs origines, cependant dans notre cas l'explication la plus plausible est que ces nitrates proviennent des eaux de drainages agricoles qui finissent dans le canal de la Taouey soit par ruissellement soit par rejet en masse.

Pour les pesticides, le bilan est plus mitigé. Bien que les résultats des analyses soient négatifs au niveau des stations de traitement d'eau potable de la SDE, nous retrouvons des zones où les niveaux de pollution peuvent constitués un réel danger pour la santé des populations. A certains points de prélèvement les teneurs de chaque agent actif dépassent largement 0,1 µg/l qui la directive européenne. C'est le cas de la station de pompage (13,3 µg/l pour le Méthamidophos) et des stations de drainage de la CSS (8,93 1 µg/l pour le Méthamidophos). Mais le résultat le plus inquiétant provient du Parathion qui est un produit fortement réglementé et classé dangereux par l'OMS. Les directives de l'OMS pour l'eau de consommation recommande un niveau maximum de Parathion de 0,03 µg/l, alors qu'au niveau de la station de pompage nous retrouvons une teneur de Parathion supérieure à 5 µg/l.

Pour essayer d'endiguer la pollution dans la zone nord, l'option que nous avons retenu, consiste à évacuer les eaux de drainage via un prolongement de la branche A de l'émissaire du Delta sur 17,4 km. Pour ce faire le dispositif de drainage sera composé en plus du canal, d'un bassin de stockage des eaux qui retiendra une partie des eaux (jusqu'à 300 000 m³) et permettra d'écarter les débits en amont. Ainsi le coût de la réalisation se verra réduit. Au final, le canal sera composé de deux parties. La première partie aura une longueur de 3 ,95 km et aura pour dimensions : 3 m de largeur

au plafond et 1,6 m de profondeur. L'autre partie aura pour dimension 3 m de largeur au plafond et 2,2 m de profondeur.

L'estimation du coût des ouvrages s'élève à 1 669 523 910 FCFA, soit un 98 207 289 FCFA par kilomètre.

Pour terminer nous avons quelques recommandations en contribution à la lutte contre la pollution. En effet, même si le prolongement de la branche A de l'émissaire permet une réduction considérable des eaux polluées rejetées il demeure une solution ponctuelle, spécifique à la zone nord du lac. Par conséquent, il faudra adopter des plusieurs mesures locales pour régler le problème global de la pollution. Nous pouvons citer en exemple :

- la sensibilisation des agriculteurs sur l'importance de la ressource en eau que constitue le lac de Guiers. Cette sensibilisation doit prendre en compte plusieurs aspects. Premièrement elle servira à éveiller la conscience sur l'importance du lac et le besoin vital de la protéger. Deuxièmement, une campagne d'information devrait être faite pour clarifier chez les usagers de l'eau, en particuliers les villageois sur le rôle et la raison d'être de l'OLAG. Enfin, le plus important, il faut informer les riverains qui utilisent l'eau brute du lac pour la consommation du danger auquel ils s'exposent.
- l'actualisation continuelle des études sur la qualité de l'eau du lac et des mécanismes de pollution. Ceci permettra de mieux appréhender la problématique de la pollution et de trouver des solutions localisées et sur mesure.
- le recensement et l'immatriculation de toutes les parcelles présentes aux alentours du lac et l'exigence de la part des autorités de l'OLAG d'un agrément pour pouvoir exploiter la ressource. Ces mesures auront pour but dans un premier lieu une réorganisation de l'environnement de l'exploitation de l'eau, et dans un second temps une interdiction de rejets non conformes aux normes de rejet des eaux.
- la mise en place d'une zone tampon de protection de 200 m autour du lac où l'irrigation serait proscrite pour pouvoir réduire les effets des eaux de ruissèlement.
- le changement progressif des méthodes d'irrigation par la reconversion des réseaux gravitaires en place, en des réseaux d'irrigation localisée, en périphérie direct du lac.

Bibliographie

- (1) A. L. Mar (2004) : **Cours d'Écoulements à Surface Libre**, EIER (*Ouagadougou, Burkina Faso*, 282 pages)
- (2) Arfi R., Ba N., Bouvy M., Corbin C., Diop Y., Ka S., Lebihan F., Mboup M., Ndour E.H., Pagano M. et Sané S., 2003. **Lac de Guiers (Sénégal). Conditions environnementales et communautés planctoniques**. Document Centre IRD Dakar. 77 pages
- (3) Cissé B, 2011 : **Les Eaux de drainages des périmètres irrigués du Delta du fleuve Sénégal : Systèmes d'évacuation et qualité des eaux**, *Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop (Dakar, Sénégal)*, 279 pages.
- (4) Gueye Moumar (2002) – L'EAU UN TRESOR A PROTEGER. Edition Maguilen. 71 pages
- (5) OLAG : **Etude d'Evaluation de la Qualité des Eaux du lac de Guiers : cas des Pesticides**, *Rapport définitif, juin 2013 - CERES LOCUTOX*. 190 pages
- (6) SAED : **Etude du Schéma Directeur d'Aménagement Agricole de la zone du lac de Guiers**, *Rapport définitif, juin 2008 – SETICO*. 302 pages.
- (7) SAED : **Etude de Faisabilité et d'Avant-Projet Sommaire de l'Emissaire du Delta**, *Rapport final définitif, février 1993 - LAHMEYER INTERNATIONAL / SOGREAH*. 82 pages

Annexes

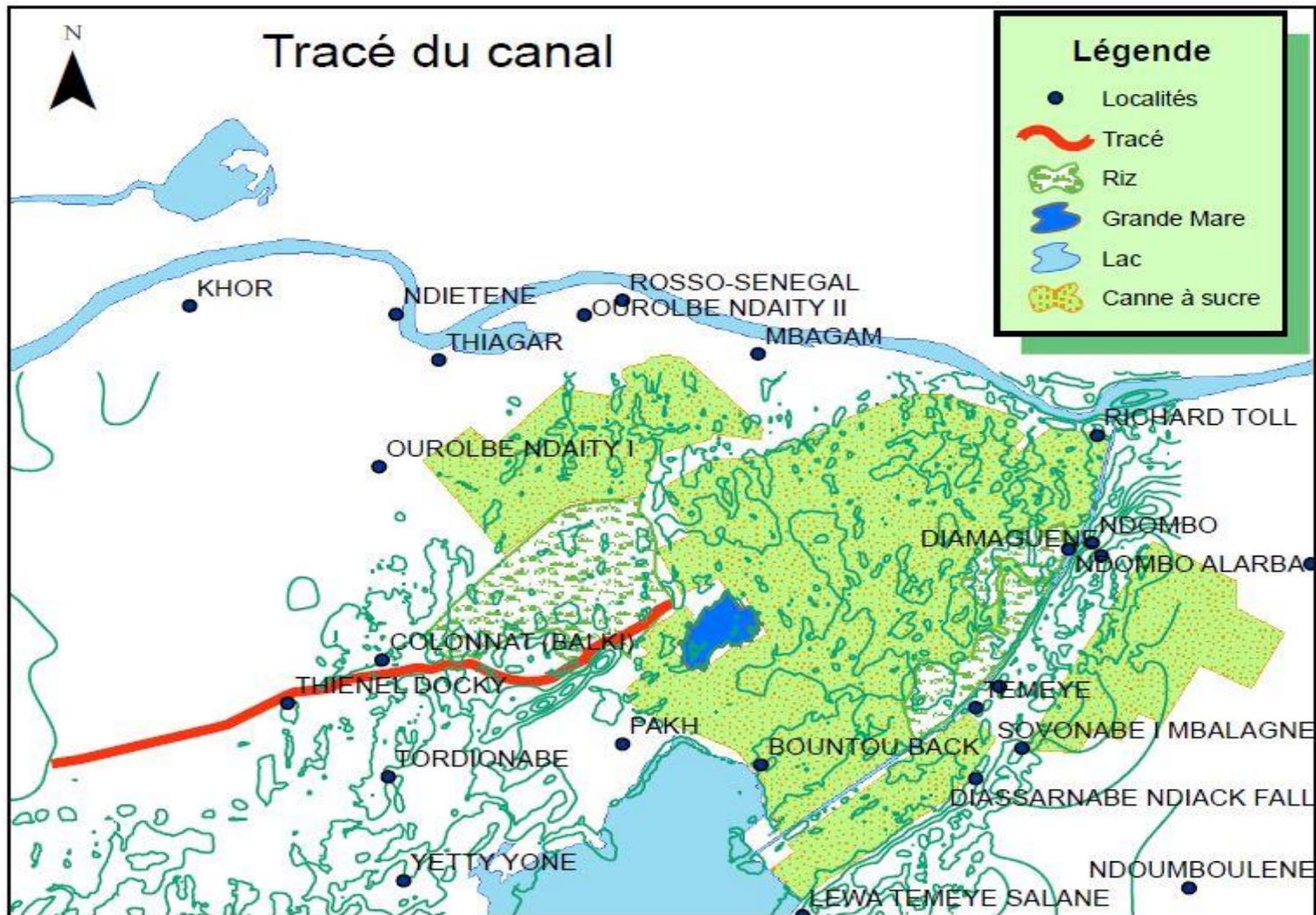
| | |
|--|------|
| ANNEXE 1 : Points de prélèvement des échantillons d'eau..... | II |
| ANNEXE 2 : Tracé du canal..... | IV |
| ANNEXE 3 : Système d'évacuation des eaux..... | V |
| ANNEXE 4 : Prises (vue de dessus)..... | VI |
| ANNEXE 5 : Prises (coupe A-A) | VII |
| ANNEXE 6 : Détails des calculs des quantités..... | VIII |

ANNEXE 1 : Points de prélèvement des échantillons d'eau

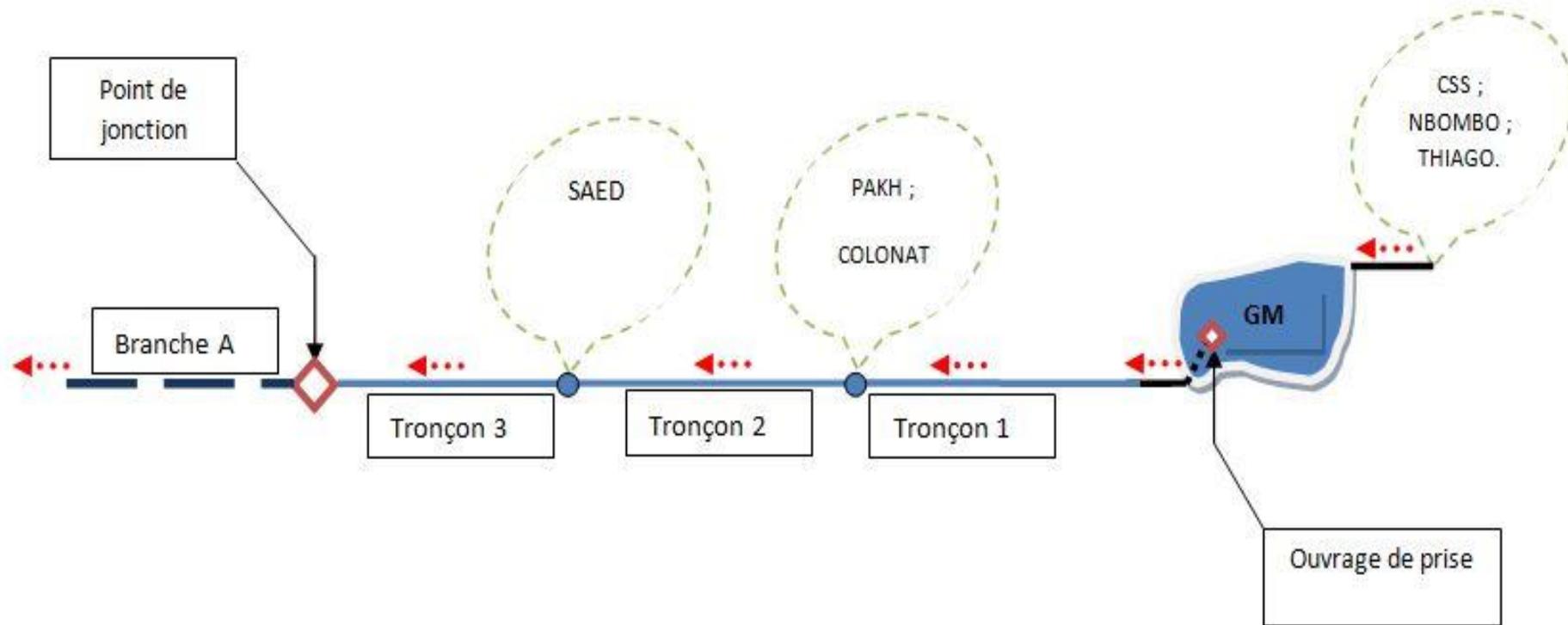
| Point de prélèvement | Coordonnées géographiques | Site correspondants |
|----------------------|---------------------------------|--|
| P01 | 16°27'50.48"N, 15°41'34.55"O | Station de pompage de la CSS à Richard Toll. Les résultats d'analyse à ce niveau donnent la qualité de l'eau de fleuve qui parcourt la Taouey pour alimenter le Lac. |
| P02 | 16°20'49.41"N, 15°47'11.10"O | Station X6 de rejet de la CSS: (qui envoie les eaux de drainage directement dans le Lac). L'échantillon tiré de ce point aura pour but de nous informer sur la nature des rejets chimiques de la CSS et leur consistance dans le lac. |
| P03 | 16°22'7.50"N, 15°46'40.11"O | Arrivée de la Taouey au lac mais aussi: un point situé sur la rive Est à la limite du périmètre des cultures de la canne à sucre. L'échantillon tiré de ce point informera sur la nature et l'importance des produits arrivant à partir des périmètres de culture par ruissellement dans le lac. |
| P04 | 16°19'49.41"N, 15°50'12.65"O | C'est un point un peu à l'opposé de P03 qui se trouve sur l'autre rive dans les périmètres de cultures rizicoles, maraîchères et vivrières. A part les effets de dilution par la Taouey, on aura le même effet que le point P03 à partir des périmètres de culture rizicole, maraîchère et vivrière. |
| P05 | 16°14'29.34"N, 15°48'7.94"O | Station de mesure de Saninthe, situé au village du même nom. C'est un point d'échantillonnage intéressant du fait de l'activité humaine qui se développe sur cette partie de la rive du lac. |
| P06 | 16°14'43.24"N, 15°51'20.94"O | Un point situé un peu à l'opposé de Saninthe sur l'autre rive, entre les villages de Naéré et Nder. La remarque sur le point P05 est valable ici. |
| P07 | 16°11'8.09"N, 15°54'7.21"O | Station de la SDE de Ngnith. Ce point informera sur la qualité des eaux destinées au traitement et à |

| | | |
|-----|---------------------------------|--|
| | | l'alimentation des populations urbaines de Dakar et des établissements humains le long des conduites d'Adduction du Lac de Guiers (ALG). |
| P08 | 16°9'37.17"N, 15°53'8.35"O | C'est le point situé sur le grand axe nord sud à presque égale distance des deux rives. C'est le seul point au centre du Lac distant des zones périphériques. Il peut informer sur la qualité des grandes eaux du lac. |
| P09 | 15°56'7.32"N, 15°56'42.51"O | Point situé en aval de l'ouvrage de Guéou à Keur Momar Sarr (KMS). Cet ouvrage permet d'alimenter le Bas Ferlo par ouverture contrôlée de ses vannes. Ce point dira la qualité de l'eau d'alimentation au niveau du Bas Ferlo. |
| P10 | 15°55'13.97"N, 15°55'21.14"O | Bas-Ferlo, à 3 km de l'ouvrage de Guéou. Ce point sera intéressant dans la mesure où, on y verra l'influence des fortes évaporations et des pertes d'eau par dispersion sur la qualité chimique des eaux. |
| P11 | 15°57'9.35"N, 15°58'4.51"O | Station SDE de KMS. Ce point informera sur la qualité des eaux destinées au traitement et à l'alimentation des populations urbaines de Dakar et des établissements humains le long des conduites ALG. |

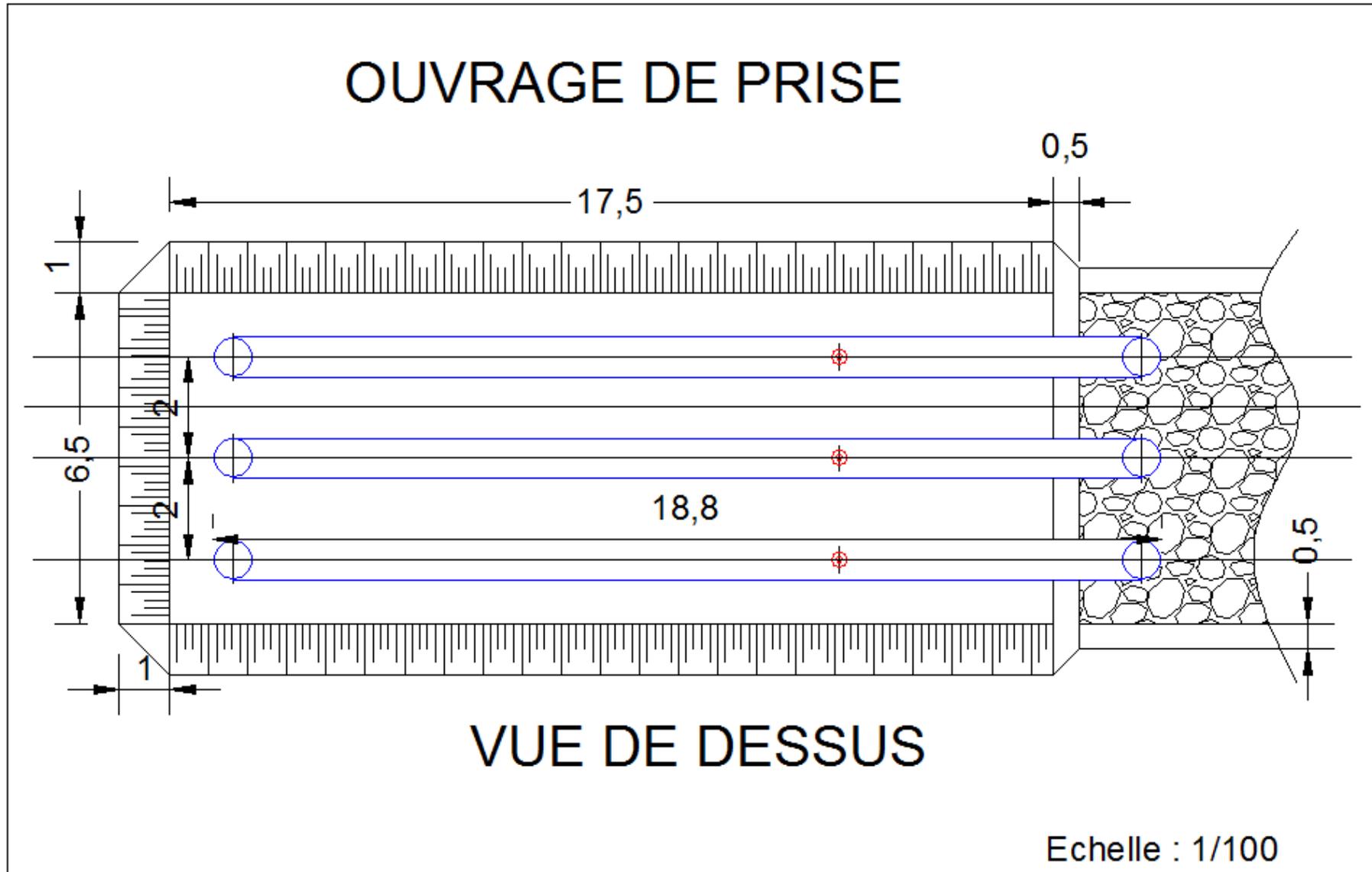
ANNEXE 2 : Tracé du canal



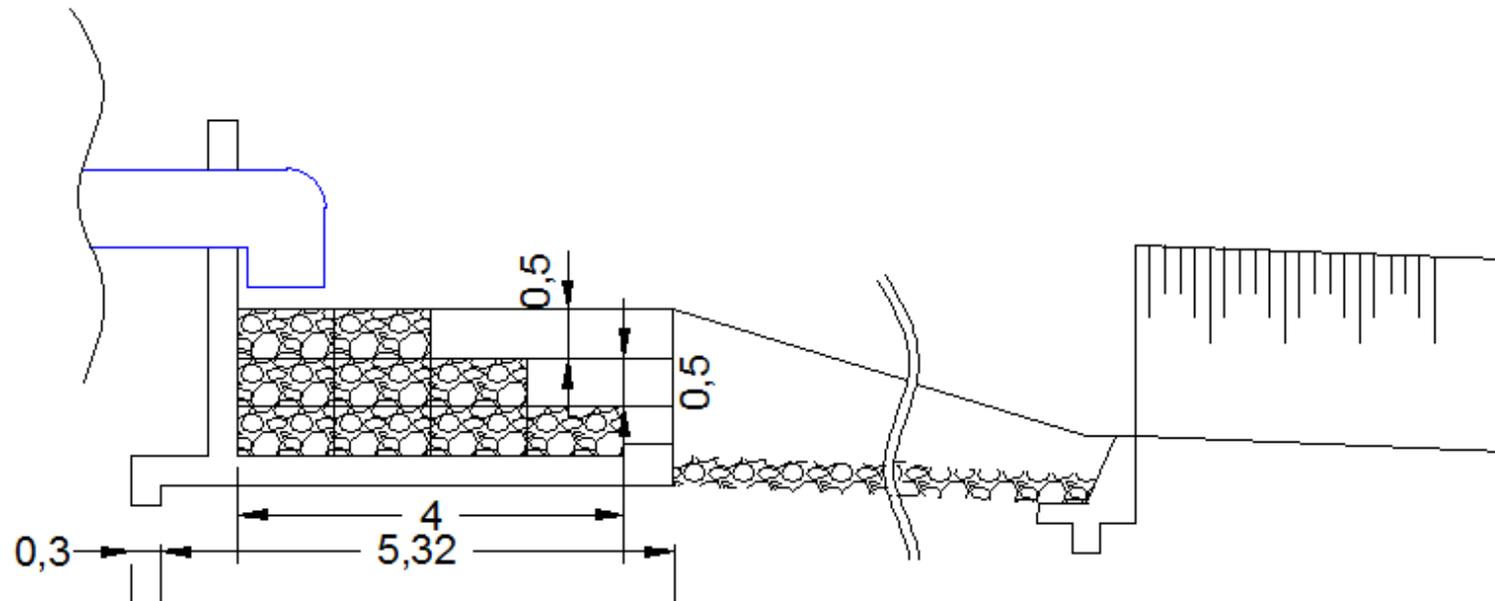
ANNEXE 3 : Système d'évacuation des eaux



ANNEXE 4 : Prises (vue de dessus)



OUVRAGE DE PRISE



COUPE A-A

Echelle : 1/100

ANNEXE 6 : Détails des calculs des quantités

Béton de propreté

$$V_{BP} = [(5,32 + 0,3) \times 0,1] + (6,5 + 2 \times 0,5)$$

$$V_{BP} = 4,215 \text{ m}^3$$

Béton armé

$$V_{BA} = [(0,3^2) + 5,32 \times 0,3 + 0,3 \times 0,5 + 1,5 \times 0,3] \times (6,5 + 2 \times 0,5)$$

$$V_{BA} = 17,145 \text{ m}^3$$

Gabions

$$V_G = [(0,5 \times 4) + (0,5 \times 3) + (0,5 \times 2)] \times (6,5 + 2 \times 0,5)$$

$$V_G = 20,25 \text{ m}^3$$

Remblais

$$V_R = (17,5 \times 6,5 \times 1) + (17,5 \times 1 \times 1) + (6,5 \times 1 \times 1)$$

$$V_R = 137,75 \text{ m}^3$$

Superficie débroussaillée

$$S_{\text{débroussaillé}} = 17401 \times (11,72 + 2 \times 10)$$