INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT.

EVALUATION QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DANS LA VILLE DE PARAKOU

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER 2
GESTION DES INFRASTRUCTURES ET SERVICE
OPTION : EAU ET ASSAINISSEMENT.
****

Présenté et soutenu publiquement le…..... Par

Urbain Abdel Aziz KPATCHIA

Travaux dirigés par : Dr Maxime Ignace ASSOGBA
Enseignant-chercheur à l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi du Bénin
E-mail : ignace_assogba@yahoo.fr

Jury d'évaluation du stage :

Président : ……..

Membres et correcteurs : ……
……
……

Promotion [2013/2014]

DEDICACE

J'ai la joie de dédier ce mémoire

A mon feu père **KPATCHIA** Pessim Constant. Cher Papa, la mort t'a arraché précocement, mais sache que tu as su encourager en moi le sens de la loyauté. A ma chère mère **BATAMOUSSI HERMANN** Marguerite épouse **KPATCHIA**. Maman, toute ta vie tu t'es toujours battue pour une cause juste et noble, tu t'es sacrifiée pour ma réussite. Puisse le Seigneur t'accorder une longévité afin que tu puisses bénéficier de cette bonne œuvre. Considère ce travail comme le couronnement de tes peines. Ne cesse pas de nous bénir et reste longtemps avec nous. Maman je t'adore éternellement.

- A mes frères : Eric Rachid, Brice Farid et Joël Koda. A mes sœurs : Glawdys Mariam, Pascaline, Judith Reine, Nadège, Chantal, Véronique, Edwige et Gisèle.

Qu'il me soit permis de remercier en premier lieu Dieu pour ses bienfaits et sa miséricorde. Je tiens à témoigner ma profonde gratitude à l'endroit du Dr Maxime Ignace ASSOGBA pour sa contribution et son entière disponibilité à superviser mes recherches et m'accompagner dans mes efforts, malgré ses multiples occupations. La rigueur scientifique et l'ardeur au travail sont les qualités du maître que vous êtes. Je vous suis profondément reconnaissant professeur pour avoir accepté de superviser ce travail étant Directeur Régional de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) à Parakou. Je tiens à rendre également hommage aux illustres membres du jury qui ont en charge l'appréciation de la qualité de cet humble travail. Je suis persuadé que vos sages remarques, contributions et suggestions ne feront qu'améliorer ce travail. Hommages respectueux à tout le personnel de la SONEB de Parakou en particulier Mr Bernardin **ADJAKOTAN**, chef service technique, Mr Damase **ATCHEKPE** chef secteur production et Mr Blaise **OUBOUEKE** chef secteur de la station d'Okpara.

A ma petite famille, puisse de ce travail et toute l'affection que je vous porte et qu'il vous motive à mieux faire. A tous mes oncles, tantes, cousins et cousines vos aides, vos conseils ne m'ont jamais fait défaut. Trouvez en ce travail mes sincères reconnaissances, A tous mes neveux et nièces retenez qu'un avenir radieux demande de grands sacrifices. A mes camarades de promotion, pour les moments agréables que nous avons eu à passer ensemble en ligne et en contact direct.

Enfin, si par mégarde j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il en soit spécialement remercié.

RESUME

Située dans une zone hydro géologiquement difficile, la source d'approvisionnement en eau potable pour les habitants de Parakou est la retenue d'eau de l'Okpara. Depuis quelques années, avec la démographie, les inquiétudes naissent quant à la capacité réelle de la retenue à satisfaire la forte demande en eau. En outre, les enquêtes révèlent le problème d'altération de la qualité organoleptique de l'eau distribuée au robinet et un manque totale d'eau pendant des heures. Pour remédier, nous avons d'une part effectué des travaux au laboratoire afin de caractériser du point de vue physico-chimique et bactériologique l'eau de la retenue avant, pendant et après le traitement actuel, et d'autre part participer aux travaux de bathymétrie dans le cadre d'un projet en vue d'évaluer quantitativement et d'apprécier l'état trophique de la retenue. Les analyses physico-chimiques de la période ont fait ressortir que certains paramètres indicateurs des limites de qualité suivant les recommandations de l'OMS sont respectés pour les mesures effectuées, en dehors de la turbidité, la couleur, l'alcalinité, le CO_2. Pour la bactériologie, sur 338 échantillons analysés aucun échantillon d'eau traitée n'a été déclaré polluer. Cependant 151 échantillons sont "sains", 71 "suspects", et 54 "souillés". De plus le chlore résiduel, marquant l'efficacité du traitement de désinfection, est rarement retrouvé à la teneur requise au robinet des clients. La bathymétrie de la retenue a révélé que la quantité d'eau disponible est de 8,2 millions de m^3permettant de garantir la fourniture d'eau pour le renforcement du système de l'AEP à Parakou jusqu'à l'horizon 2025.

Mots clés :

1 - Retenue d'eau.

2 - Plantes aquatiques.

3 - Qualité organoleptique

ABSTRACT

Located in a hydro geologically difficult area the drinking water source for residents of Parakou and around is the dam of Okpara. In recent years, with the exponential growth of populations following urbanization, concerns arise as to the actual capacity of the reservoir to answer the high demand for water. In addition, complaints from consumers of the product of SONEB are often recorded with respect to the alteration of the sensory quality of the water supplied to the tap and the lack of tap water for hours. To understand this, we firstly carried out work in the laboratory to appreciate the physic- chemical and bacteriological aspect of the withholding water before, during and after the current treatment. Secondly we took part in bathymetry workshop under a project to quantify and assess the trophic status of the reservoir. The physic -chemical analyzes of June have shown that the indicator parameters quality limits according to WHO recommendations are followed for measurements made apart from turbidity, color, alkalinity and CO2. With regard to the bacteriology of 338 samples analyzed any treated samples of water were reported polluted. However 151 samples are "healthy", 71 "suspicious" and 54 "dirty" In addition the residual chlorine proving the treatment efficiency of disinfection, and it is often not found at the required level in the content of the customers' tap. The bathymetry of the reservoir revealed that there are is 8.2 million m3 amount of water available which ensures the supply of water to strengthen the system of AEP in Parakou till 2025.

Keywords:

1 - Water Reservoir

2 - water plants

3- sensory quality.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AEP : Alimentation en Eau Potable,

DRPA : Direction Régionale de Parakou

EDTA : éthylène diamine tétra acétique

EPAC : Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi,

Fe^{2+} : ion ferreux

GPS : Global Positioning Système

HMT : Hauteur Manométrique Totale

IGN : Institut Géographique National

Mg^{2+} : ion magnésium

Mn^{2+} : ion manganeux

NET : Noir Eriochrome T

nm : nanomètre

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PEHD : Polyéthylène Haute densité

pH : Potentiel Hydrogène

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

SBEE : Société Béninoise d'Electricité et d'Eau

SODAK : Société Dahoméenne de Kénaf

SONEB : Société Nationale des Eaux du Bénin

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

UAC : Université d'Abomey-Calavi,

SOMMAIRE

DEDICACE……i

RESUME……ii

ABSTRACT……iii

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS……iv

SOMMAIRE……1

LISTE DES TABLEAUX……3

LISTE DESFIGURES……4

I. Introduction…… 5

II. Objectifs…….....8

2.1 Objectif général……9

2.2 Objectifs spécifiques……9

III- CONTEXTE ET ZONE D'ETUDE……10

III. 1-Contexte et Problématique……11

III 2-Description de la zone d'étude……12

3.2.1. Situation géographique et administrative de la ville de Parakou……12

3.2.2. Relief, climat, réseau hydrographique……12

3.2.3 Sols et végétation……13.

3.2.4 Milieu humain et démographique……13

3.2.5 Nature géomorphologique……14

3.3. Présentation de la structure d'accueil……14

3.3.1. Historique……14

3.3.2. Organisation Générale……15

3.3.3. Organisation de la direction régionale de Parakou……15

IV. Matériels et méthodes……16

4.1 Matériel……17

4.1.1 Matériels utilisés pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques……17

4.1.2 Matériel utilisé pour la bathymétrie de la retenue d'eau de l'Okpara……18

4.2 Méthodes……18

4.2.1 Planning des prélèvements……18

4.2.2 Modesetconditionsdeprélèvementdeséchantillonsdestinésauxanalyses physico-chimiques……19

4.2.2.1 Les paramètres dosés sur le terrain analyses physico-chimiques……20

4.2.2.2 Les paramètres alcalino-terreux……21

4.2.2.3 Dosage par la méthode spectrophotométrique……..21
4.2.2.4 Dosage par la méthode volumétrique……..……..……..22
4.2.2.5 Dosage par la méthode colorimétrique……..…23
4.2.3 Modes et conditions de prélèvement des échantillons destinés aux analyses Bactériologiques……....23
4.2.3.1 Prélèvement des échantillons ……...…….23
4.2.3.2 Transport et conservation des échantillons……..……23
4.2.3.3 Dénombrement de colonies et recherche présomptive de coliformes……24
4.2.3.4 Germes et milieux de culture……...……...24
4.2.4 Méthode utilisée pour la bathymétrie……....25
4.2.4.1 Activités……..……..25
V. Résultats ……....30
5.1 Résultats……...……30
5.1.1 Caractérisation de l'eau du barrage de l'Okpara avant, pendant et après le traitement actuel…….....30
5.1.2 Résultats des analyses bactériologiques…….....31
5.1.2.1 Population bactérienne des eaux analysées…….....31
5.1.2.2 Présence du chlore résiduel libre dans les eaux analysées……..33
5.1.3 Bathymétrie de la retenue d'eau……..35
VI. Discussion et analyses……38
6.1 Caractéristiques physico chimiques…….....39
6.2 Caractéristiques biologiques……..……....40
6.3 Physico-chimie……...……41
6.4 Bactériologie……...42
6.5 Bathymétrie……....43
6.6 Eutrophisation…….……..43
6.7 Contribution Analytique…….……43
VII. Conclusions……..……46
VIII. Bibliographie ……..…….50
IX. Annexes ……..…….....i

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Coordonnées des profils pour les levés bathymétriques de la retenue d'eau de l'Okpara……..…….....**17**

Tableau 2: Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau brute, pré chlorée et traitée……..……**20**

Tableau 3 : Paramètres biologiques illustrant la qualité de l'eau.....**22**

Tableau 4: Caractéristiques des eaux de surface et souterraines.....…..**30**

Tableau 5 : Fréquence de prélèvement…….**32**

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les zones de prélèvement sur le réseau d'AEP de Parakou.....**9**

Figure 2 : Les différentes qualités biologiques des eaux analysées… **22**

Figure 3 : Variation du chlore en fonction des échantillons d'eaux saines… **23**

Figure 4: Variation du chlore en fonction des échantillons d'eaux suspectes…..... **24**

Figure 5 : Variation du chlore en fonction des échantillons d'eau fortement suspectes…..... **24**

INTRODUCTION

I. Introduction

L'eau est une ressource naturelle indispensable à la survie de tout être vivant. Elle doit être disponible en quantité suffisante et en qualité afin de satisfaire les besoins de l'homme. Aujourd'hui avec la croissance démographique et l'utilisation plus accrue de l'eau par les populations pour des buts de consommation et d'extension des cultures irriguées, il est évident que la quantité et la qualité de l'eau seront influencées dans la nature. Vue la vulnérabilité de l'eau, il est plus aisé et moins onéreux d'alimenter la population en eau potable à partir des eaux souterraines. Mais l'accès à ces dernières pose d'énormes problèmes à cause de la nature cristalline du substratum géologique dans plusieurs localités, obligeant les acteurs du secteur de l'eau à faire recours aux eaux de surface (ZOGO, 2010). Les eaux de surface proviennent du ruissellement des eaux de précipitation, des eaux de sources et des nappes. Ces eaux sont exposées à des pollutions minérales comme organiques tels que les débris animaux et végétaux, les résidus de pesticides et d'autres intrants agricoles (engrais chimiques), le fer, le manganèse, le fluor, les nitrates, les nitrites, phosphore …

La ville de Parakou et ses environs sont alimentés en eau potable captée à partir de la retenue d'eau construite sur la rivière Nanon, un affluent du fleuve Okpara. Cette retenue située dans la commune de Tchaourou est exposée à d'importantes sources potentielles de pollution compte tenu des différentes activités menées sur le sous bassin versant de la retenue.

En outre, la ville de Parakou s'accroit d'année en année et de manière horizontale non maitrisable, à cela s'ajoute la forte demande en eau dû à la croissance démographique. Il se pose alors à la société distributrice d'eau potable, la SONEB, plusieurs défis notamment le renforcement de la production pour couvrir les besoins de ses populations et la mise à disposition de l'eau potable initialement traitée, à partir des réseaux de distribution.

La formation Master professionnel est consolidée par des stages intermédiaires durant le cursus, puis un stage en entreprise aboutissant à un mémoire à présenter. C'est dans cette optique que nous avons eu le privilège d'effectuer un stage pratique de sept mois à la Direction Régionale de la SONEB à Parakou.

Notre stage , objet du présent rapport, nous a permis de faire le diagnostic des difficultés qui sont à l'origine de critiques parfois fondés des clients de la SONEB lesquels critiques se rapportant aussi bien à la qualité de l'eau fournie, qu'à la disponibilité de l'eau potable au robinet. En effet, des plaintes afférentes à la turbidité élevée de l'eau de robinet et au manque total pendant des heures de l'eau potable chez les clients sont enregistrées de temps en temps surtout en période d'étiage.

Dans ce travail nous avons alors choisi d'aborder ces préoccupations qui opposent la SONEB

à sa clientèle en vue d'appréhender un tant soit peu les contours des difficultés et en vue de suggérer des approches de solution qui pourront être approfondies. C'est pourquoi le thème de notre stage a été intitulé **« EVALUATION QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DANS LA VILLE DE PARAKOU ».** Ceci nous fais appelle à la problématique du sujet. Ainsi la ville de Parakou est située dans une zone de socle qualifiée parfois comme "zone hydro géologiquement difficile" contraignant la SONEB à se rabattre sur le barrage d'eau de l'Okpara afin d'accomplir sa mission de fourniture d'eau potable à la population. Depuis quelques années, on assiste à une évolution urbaine très significative, du fait des activités commerciales et industrielles qui se développent dans la ville de Parakou. A Cela s'ajoute l'accélération des différents travaux de lotissement engendrant l'installation massive des populations qui expriment une forte demande en eau. Face à cette évolution exponentielle de la population urbaine et péri urbaine, la SONEB se trouve confrontée au défi de la satisfaction permanente et continue des besoins desdites populations en eau potable en quantité et en qualité. Par ailleurs, les activités anthropiques telles que les cultures agricoles sur le bassin versant de la retenue s'intensifient d'année en année avec leur corollaire de rejet des résidus divers qui sont charriés vers la retenue. La seule ressource disponible est donc gravement exposée aux assauts de toutes sortes de pollution (déchets agricoles, eaux usées domestiques) d'où son état actuel d'eutrophisation avancée.

En outre, depuis la mise en service du système d'alimentation de la ville de Parakou en 1975, les rares investissements enregistrés sont intervenus pour palier à des problèmes ponctuels : cas du remplacement de l'ancienne conduite de transport DN 500 en FSP par une conduite DN 400 en fonte ductile et celui de la construction d'un château d'eau de 500 m^3au quartier Zongo de la ville de Parakou. Il est alors noté qu'aucun investissement n'a été consacré au renforcement du système en occurrence au niveau de la production depuis bientôt 40 ans.

Les diverses contraintes auxquelles le système d'alimentation en eau de la ville de Parakou est soumis pourrais servir de raison pour expliquer les plaintes des clients de la SONEB dans cette ville. En effet, les critiques formulés à l'endroit du produit servi par la SONEB se rapportent essentiellement, d'une part à l'altération de la qualité organoleptique de l'eau distribuée au robinet (couleur et turbidité élevée) et d'autre part au manque total d'eau au robinet pendant des heures surtout en période d'étiage.

Ceci amène à se poser quelques questions sur le processus de potabilisation de cette eau et les caractéristiques du réservoir que constitue la retenue.

OBJECTIFS

II. OBJECTIFS

2.1 - Objectif général

L'objectif général de cette étude est :

- D'analyser les potentialités en eau souterraine des aquifères de la ville,
- D'étudier les propriétés hydro chimiques des eaux de ces aquifères pour faciliter son traitement et intensifier la productivité nécessaire,
- Quantifier le volume d'eau disponible en rapport avec l'état trophique de la retenue
- Contrôler la qualité de l'eau actuellement distribuée à la population en rapport avec sa disponibilité dans la retenue en vue de pérenniser au mieux son exploitation.
- Analyser les mécanismes d'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines.

2.2 - Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques visent à :

- Caractériser l'hydrodynamique des sources disponibles,
- Analyser les paramètres influençant la productivité,
- Déterminer les paramètres physico-chimiques et bactériologique de l'eau brute, pré chlorée et traitée par la SONEB à Parakou ;
- Proposer des solutions éventuelles pour une eau de meilleure qualité et en quantité suffisante.

CONTEXTE ET ZONE D'ETUDE

III-1- CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

La ville de Parakou est située dans une zone de socle qualifiée parfois comme "zone hydro géologiquement difficile" contraignant la SONEB à sera battre sur le barrage d'eau de l'Okpara afin d'accomplir sa mission de fourniture d'eau potable à la population.

Depuis quelques années, on assiste à une évolution urbaine et significative, du fait des activités commerciales et industrielles qui se développent dans la ville de Parakou. A Cela s'ajoute l'accélération des différents travaux de lotissement engendrant l'installation massive des populations, qui expriment une forte demande en eau. Face à cette évolution exponentielle de la population urbaine et péri urbaine, la SONEB se trouve confrontée au défi de la satisfaction permanente et continue des besoins des dites populations en eau potable en quantité et en qualité.

Par ailleurs, les activités anthropiques telles que les cultures agricoles sur le bassin versant de la retenue s'intensifient d'année en année avec leur corollaire de rejet des résidus divers qui sont charriés vers la retenue. La seule ressource disponible est donc gravement exposée aux assauts de toutes sortes de pollution (déchets agricoles, eaux usées domestiques etc..) d'où son état actuel d'eutrophisation avancée.

En outre, depuis la mise en service du système d'alimentation de la ville de Parakou en 1975, les rares investissements enregistrés sont intervenus pour palier des problèmes ponctuels : cas du remplacement de l'ancienne conduite de transport DN500 en FSP par une conduite DN400 en font ductile et celui de la construction d'un château d'eau de 500m^3au quartier zongo. Il est alors noté qu'aucun investissement n'a été consacré au renforcement du système en occurrence au niveau de la production depuis bientôt 40 ans. Les diverses contraintes auxquelles le système d'alimentation en eau de la ville de Parakou est soumis pourrait servir de raison pour expliquer les plaintes des clients de la SONEB dans cette ville. En effet, les critiques formulés à l'endroit du produit servi par la SONEB se rapportent essentiellement, d'une part à l'altération de la qualité organoleptique de l'eau distribuée au robinet (couleur et turbidité élevée) et d'autre part au manque total d'eau au robinet pendant des heures surtout en période d'étiage. Ceci amène à se poser quelques questions sur le processus de potabilisation de cette eau et les caractéristiques du réservoir que constitue la retenue.

III-2-Description de la zone d'étude

3.2.1-Situation géographique et administrative de la ville de Parakou

Capitale régionale du Nord Bénin, la ville de Parakou (chef-lieu de la commune de Parakou) est située au nord de la République du Bénin à 407 km de Cotonou. Elle se trouve à 9°21' de latitude Nord, à 2°36' de longitude Est puis à une altitude moyenne de 350m et présente un relie assez modeste. Elle abrite plusieurs groupes linguistiques et constitue un important carrefour des grands axes routiers; c'est surtout le terminus de la voie ferrée qui quitte Cotonou, capitale économique du Bénin. Avec une Superficie de441km^2 la ville de Parakou est limité eau Nord par la Commune de N'Dali, au Sud, à l'Est et à l'Ouest par la Commune de Tchaourou. Parakou est une commune à statut particulier constituée de trois(3) arrondissements et 41 quartiers de ville. La commune est administrée par un conseil municipal de 25 membres ayant à sa tête le Maire. Parakou est le chef- lieu du département du Borgou et, en cette qualité, abrite des directions départementales et beaucoup d'agences régionales, entre autre la DRPA.

3.2.2-Relief, climat, réseau hydrographique

Parakou est situé à une altitude moyenne d'environ 350m. Le point culminant est fixé au quartier Zongo (397 m). Dans son ensemble, la ville présente une allure de plateau allongé du Sud au Nord avec une double inclinaison dont l'une plus accentuée est orientée vers la vallée de l'Okpara à l'Est et une plus faible orientée vers l'Ouest dans la vallée de Yeroumaro. Le site est vallonné et caractérisé par une succession de croupes de pente allant de 2à 4% et parfois se rejoignent pour former les principaux thalwegs assurant le drainage naturel des eaux pluviales.

A Parakou, le climat est de type tropical humide (climat Sud soudanien).Il se caractérise par l'alternance d'une saison de pluies allant de Mai à Octobre et d'une saison sèche allant de Novembre à Avril. C'est en Décembre-Janvier que l'on enregistre les températures les plus basses oscillant entre 15-20°C la nuit et les plus hautes à midi (35-40°C). La précipitation moyenne annuelle est de 1200mm contre 1549,5 pour l'évapotranspiration potentielle.

Les pluies sont surtout concentrée sur le mois de juillet, Aout, Septembre avec des moyennes annuelles respectives de 205,9 mm ; 219,10 mm; 209 mm contre respectivement 108,3mm ; 103,2 mm ; 106,2mm pour l'évapotranspiration potentielle. Le

réseau hydrographique de la ville de Parakou est constitué de grands cours d'eau, de ruisseaux et de marigots. L'Okpara, affluent de l'Ouémé, est le seul cours d'eau important se trouvant dans la région de Parakou (environ à 12Km à l'Est du centre-ville). Parakou se trouve donc dans le bassin versant de l'Opkara (Annexe 12).

3.2.3-Sols et végétation

Parakou fait partie de la vieille surface d'aplanissement ouest africaine se reposant sur le socle précambrien de la pénéplaine du Bénin. Ce socle précambrien est constitué de gneiss, de micaschistes, de quartzites, de granites qui ont été fortement dégradés par les éléments météorologiques. Ces diverses formations géologiques sont recouvertes par des sols de couches latéritiques dures et résistantes (cuirasse). Mais on remarque surtout la présence de sols fins, argilo-sableux issus des altérites du socle. La profondeur utile moyenne peut être limitée par la discontinuité d'un horizon concrétionné parfois massif rendant médiocre le drainage qui généralement est moyen. Par rapport aux sols ferralitiques, ils ont une meilleure fertilité chimique mais par contre leurs propriétés physiques sont souvent contraignantes pour les plantes. On y rencontre aussi des sols hydromorphes dans les bas- fonds. Dans l'ensemble, la ville et la région de Parakou sont dominées par la présence de sols ferrugineux et par endroit de sols ferralitiques et hydromorphes.

Le couvert végétal observé à Parakou est dominé par la savane arborée. Elle se caractérise par la présence du néré (*Parkiabiglobosa*), du faux acajou (*Blighiasapinda*), de bois d'ébène (*Diospyrosmespiliformis*), le karité (*Butyrosperumparadoxum*). Les bas-fonds sont des prairies marécageuses de savanes, des buissons de bambous (*Bambusa arundinacca*). Les jachères sont envahies par des graminées et des arbustes assez divers.

3.2.4-Milieu humain et démographique

La ville de Parakou est une ville cosmopolite. Les groupes ethniques rencontrés sont : les Baribas, les Dendis, les Yoroubas, les Fons, les Adja, les Otamaris, les Peulhs et les ethnies étrangères.

L'accroissement de la population s'est accéléré avec l'achèvement du chemin de fer et l'installation des unités industrielles. De 1961 à 1979, le taux d'accroissement annuel de la population s'élevait à plus de 13,5%. D'après les résultats provisoires du RGPH4, l'effectif de la population de Parakou, en 2013 est évalué à 254.254 habitants.

3.2.5. Nature géomorphologique

Le bassin hydrologique ou bassin versant de l'Opkara et de la retenue de Parakou présentent un aspect vallonné caractérisé par une succession de croupes ayant généralement des sommets arrondis surtout dans les régions anciennement cultivé (ex- SBEE, 1990). Les pentes varient de 2 à 4% et s'abaissent progressivement d'Ouest en Est et d'Est en Ouest selon le flanc considéré. On observe de petites plaques de latérites localisées sur les pentes un peu fortes et croupes de cuirasses ferrugineuses situées dans l'alignement des formations granitiques. Ces successions de croupes et de vallons donnent un aspect de topographie monotone à la région. Elles forment une ligne décrète Nord-Sud de 390 m.s.m d'altitude séparant localement les eaux du bassin versant de l'Ouémé supérieur à l'Ouest de celles de l'Okpara son affluent à l'Est (Le BARBE, 1993).

3.3 - Présentation de la structure d'accueil

3.3.1 - Historique

Le processus de la réforme institutionnelle de l'ex «Société Béninoise d'Electricité et d'Eau (SBEE)» a abouti à la séparation des deux activités «Eau» et «Electricité» et à la création de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) conformément au décret n°2003-203 du 12 juin 2003.

La SONEB est une société anonyme unipersonnelle à caractère industriel et commercial qui exerce son activité dans le domaine de l'eau potable. Elle a pour mission la captation, le transfert, le traitement et la distribution de l'eau potable ainsi que l'évacuation des eaux usées. Ses activités s'étendent sur l'ensemble du territoire national. Elle intervient en milieu urbain et est placée sous la tutelle du Ministère de l'Energie, des Recherches Pétrolières et Minières, de l'Eau et du Développement des Energies Renouvelables (MERPMEDER).

La SONEB dotée de la personnalité civile et de l'autonomie financière exerce ses activités conformément à ses statuts, aux lois et aux règlements de l'acte uniforme de l'Organisation pour l'Harmonisation en Afrique du Droit des Affaires(OHADA) relatifs au droit des sociétés commerciales et groupements d'intérêt économique.

Les ressources en eaux exploitées par la Soneb pour l'alimentation en eau potable des populations du Bénin proviennent des eaux souterraines captées à l'aide de plus de 150 forages et des eaux superficielles provenant de 5 retenues d'eau. Grace à l'appui des Partenaires Technique et Financier (PTF) au développement, en dehors de 8 chefs-lieux de

communes: Ouèssè, Ouinhi, Zè, Kpomassè, Karimama, Gogounou, Kalalé et Kobly les autres soixante-neuf (69) chefs-lieux de communes sont tous dotés d'un système d'adduction d'eau potable par la SONEB.

3.3.2- Organisation Générale.

Au plan organisationnel, la SONEB est structurée comme suit:

Conseil d'Administration (CA) composé de sept membres doté de larges pouvoirs pour agir au nom du gouvernement béninois;

Direction Générale (DG), comprenant les structures fonctionnelles chargées des aspects de planification, commerciaux, financiers, administratif et de contrôle interne. Elle est chargée essentiellement de la définition des objectifs et stratégies, de l'animation, de la coordination, du suivi et du contrôle des activités;

Comité de Direction (CODIR) qui est un organe consultatif obligatoire comprenant les directions centrales et les départements;

Structures d'exploitation (directions régionales et agences), dont le rôle principalest d'assurer la gestion de la clientèle aux plans technique et administratif.

Compte tenu du caractère spécifique des activités de la SONEB, le territoire national a été subdivisé en six (06) directions régionales dirigées chacune par un directeur régional (DOUNA, 2009).

3.3.3- Organisation de la direction régionale de Parakou

La Direction Régionale de Parakou qui nous a accueillis au cours de notre stage est organisée comme suit:

-Secrétariat rattaché à la direction régionale

- Service technique (Okpara, production, distribution, maintenance électromécanique)
- Secteurs : administratif; informatique ; recouvrement et finance; contrôle et analyse des performances
- Agences de Parakou et de Kandi comprenant les divisions, le secteur commercial puis le branchement, dépannage pour l'agence de Parakou.

MATERIELS ET METHODE

IV. MATERIELS ET METHODES

4.1- Matériel

Nous avons exploité les données des travaux exécutés au cours de notre stage. Ces données portent d'une part sur les analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eau prélevés à la station de pompage de l'Okpara, à l'usine d'eau de Banikanni et sur le réseau de distribution d'eau potable de la ville de Parakou. Par ailleurs nous avons participé aux travaux de l'étude bathymétrique de la retenue d'eau de l'Okpara dans le cadre du projet « ORIO » sur le financement conjoint des Gouvernements des Pays Bas et du Bénin.

4.1.1- Matériels utilisés pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques

- ***Sur le terrain***

- Eprouvette graduée de 250ml pour le dosage de CO_2 libre,
- Pipette graduée de 10mL pour le dosage du CO_2 libre,
- Solution de soude (NaOH) 0,1N pour le dosage du CO_2 libre,
- Solution de phénolphtaléine 1/100 pour le dosage du CO_2 libre,
- Coffret Aquamerck pour le dosage de l'oxygène dissous,
- Flacons contenant du marbre pour les essais au marbre,
- Bouteilles en plastique pour les prélèvements d'eau,
- Un bec de bunsen utilisé pour flamber le bout du robinet avant de prélever l'échantillon d'eau pour la bactériologie,
- Bouteilles en verre stérilisées (contenant du thiosulfate),
- pH-mètre et conductimètre pour mesurer respectivement le ph et la conductivité des échantillons d'eau,
- solution d'ortho toluidine pour le dosage du chlore résiduel sur le réseau,
- un comparateur avec une plaquette portant des couleurs correspondantes aux concentrations du chlore résiduel,
- Appareil photo numérique pour prendre les différentes images.

- ***Au laboratoire***

- Erlenmeyers de 250mL pour le dosage du titre alcalimétrique complet,
- Pipettes graduées de 100mL, 50mL pour le dosage du CO_2 libre,
- Barreaux aimantés pour homogénéiser les solutions,
- Spectrophotomètre pour déterminer les paramètres tels que la couleur, nitrates…,

- Distillateur pour la préparation de l'eau distillée,
- Turbidimètre pour prendre la turbidité,
- Autoclave pour la stérilisation à vapeur des milieux de culture,
- Stérilisateur pour stériliser les boites de pétri,
- Boite de pétri à fond plat Ø 50,
- Incubateur pour les ensemencements,
- Un réfrigérateur permettant de conserver les échantillons.

4.1.2- Matériel utilisé pour la bathymétrie de la retenue d'eau de l'Okpara

Les relevés bathymétriques ont été effectués le long du cours d'eau à partir d'une sonde de marque GARMIN, modèle GPS-160 Map527×S couplé d'un sondeur bi fréquence calibré sur 200 hertz et étalonné sur barque ou pirogue relativement à la ligne de flottaison.

4.2- Méthodes

La présente étude s'est déroulée en deux phases : une phase littéraire et une phase pratique. La phase littéraire a consisté à la collecte et traitement des données sur les analyses faites sur les eaux de surface destinées à la consommation d'une part et d'autre part sur l'étude bathymétrique de la retenue de l'Okpara seule source d'approvisionnement en eau potable de la ville de Parakou et environs. La phase pratique de cette recherche a été consacrée dans un premier temps aux analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes et traitées de la station et du réseau de distribution d'eau de Parakou puis dans un second temps aux travaux de bathymétrie de la retenue d'eau de l'Okpara.

4.2.1- Planning des prélèvements

La population desservie à Parakou par la Soneb étant comprise entre 5001 et 100000, les prélèvements pour les analyses bactériologiques ont été faits, par zone. Ainsi nous avons exploité cinq zones à savoir : Zone 1 (Banikanni, Kpébié, Dépôt) ; Zone 2 (Albarika, Tourou, Tibona, Camp Adagbè) ; Zone 3 (Nima, Guèma, Zongo, Wansirou) ; Zone 4 (Titirou, Oké Dama, Sinangourou) ; Zone 5 (Arafat, Konkoma, Cobè, Madina, Yarachinnin) (figure 5). Au niveau de chaque zone, 15 échantillons ont été prélevés en des points représentatifs du système du réseau de distribution et 11 échantillons au niveau de la station. Ce qui fait au total 26 échantillons que nous avons prélevés tous les deux jours durant la période pour le contrôle microbiologique. Pour ce qui est de la physico-chimie le prélèvement des eaux brutes, pré chlorées et traitées a été fait une seule fois dans le mois.

LEGENDE

Zone 1 : Rouge
Zone 2 : Noire
Zone 3 : Vertes
Zone 4 : Violette
Zone 5 : Jaune
Point de prélèvement

Nord

Ouest Est

Sud

ECHELLE:1/500000

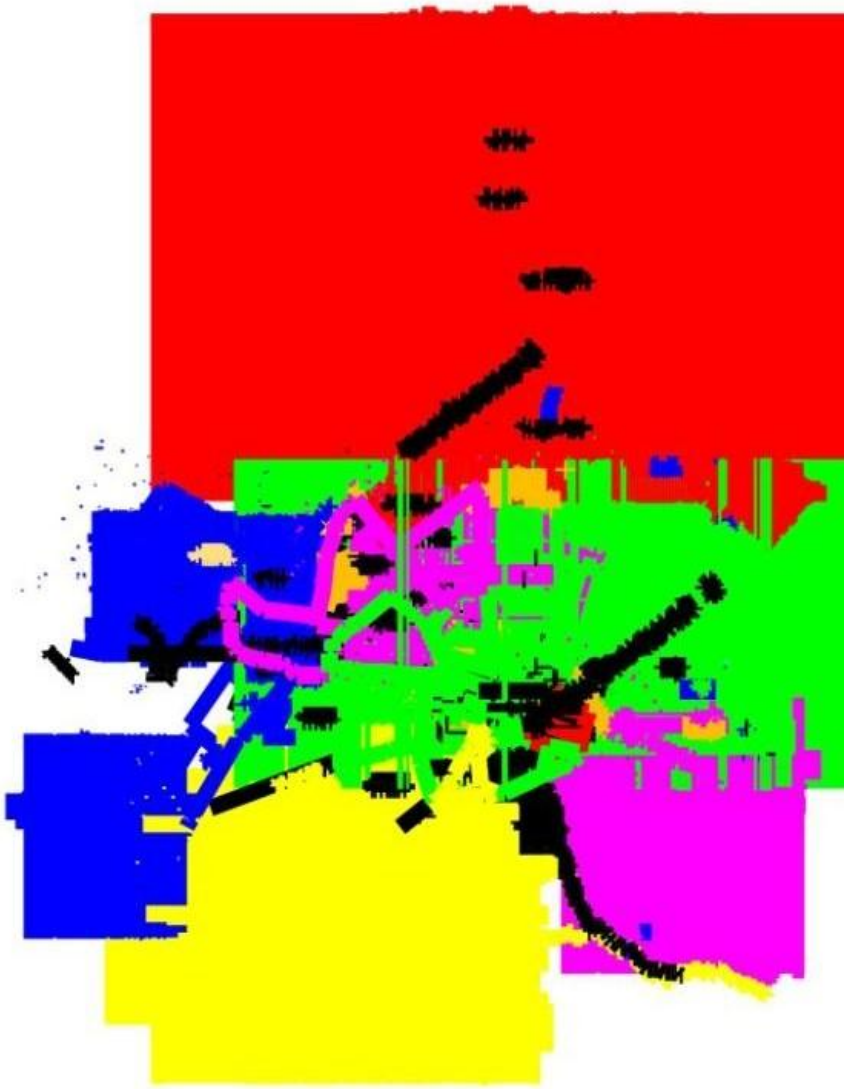


Figure 1: Les zones de prélèvement sur le réseau d'AEP de Parakou.
(**Source** : KPATCHIA, 2014)

4.2.2 - Modes et conditions de prélèvement des échantillons destinés aux analyses physico-chimiques

Pour ce prélèvement, il faut disposer de flacons de 1L au moins, soigneusement lavés et rincés à l'eau distillée et des flacons de 125mL contenant un peu de marbre.

Sur le lieu de prélèvement, on laisse couler un peu l'eau (un sceau par exemple) certains paramètres sont mesurés sur le site (température, conductivité électrique, pH, fer, oxygène,

gaz carbonique libre). Enfin, on remplit les deux types de flacon pour des analyses plus poussées au laboratoire.

4.2.2.1- - Les paramètres dosés sur le terrain analyses physico-chimiques.

Nous pouvons citer entre autres : température, conductivité électrique, pH, fer dissous et total, l'oxygène dissous, gaz carbonique libre. La méthode utilisée est la suivante :

- ***Dosage du pH***

Dans l'eau chimiquement pure, les molécules d'eau se dissocient en formant H_30^+ (ion hydronium) et OH^- (ion hydroxyde) selon la formule :

$2H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + OH^-$ ou $H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$(en considérant uniquement l'activité protonique)

A l'aide d'un pH-mètre de marque WTW 315i/SET, d'une électrode préalablement étalonnée, on plonge l'électrode dans l'échantillon contenu dans un bécher. Après stabilisation de l'affichage sur le cadran du pH-mètre, la valeur du pH est lue. Entre chaque mesure, nous avons rincé soigneusement les électrodes à l'eau distillée et à l'eau de l'échantillon.

- ***Conductivité Electrique***

La conductivité est mesurée à l'aide d'un conductimètre de marque WTW LF340-A/SET. La valeur de la conductivité s'affiche à l'écran du conductimètre après stabilisation. Elle est exprimée en micro-siemens par centimètre (µs/cm) et est basée sur la présence d'ions. Il importe de la déterminer parce qu'elle permet de tirer des conclusions sur la teneur ou sur la concentration en substances dissociables dissoutes.

- ***La Température***

Elle se lit au thermomètre. Unité : °C

- ***Dosage de l'oxygène dissous***

Nous avons utilisé le coffret Aquamerck pour le dosage de l'Oxygène. Il comporte cinq réactifs (Annexe 3 présente le mode opératoire)

- ***Dosage du Gaz Carbonique libre***

Le dosage du gaz carbonique libre se fait par titrimétrie à la solution d'hydroxyde de sodium

0,1N. L'expression du résultat est la suivante :

CO_2 (libre) ——————————————— **en mg/L** **(1)**

4.2.2.2- Les paramètres alcalino-terreux

- ***Dosage du calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+}***

Les ions calcium et magnésium sont dosés par la méthode titrimétrique à l'EDTA (Annexe 6).

Les résultats sont exprimés par les formules suivantes :

$[Ca^{2+}]$= volume de solution consommé × 7,147 en mg/L (2)

$[Mg^{2+}]$= volume de solution consommé × 4,357 en mg/L (3)

La dureté totale de l'eau est donnée par la formule :

$TH= [Ca^{2+}]/4,008+ [Mg^{2+}]/2,43$ (4)

4.2.2.3- Dosage par la méthode spectrophotométrique

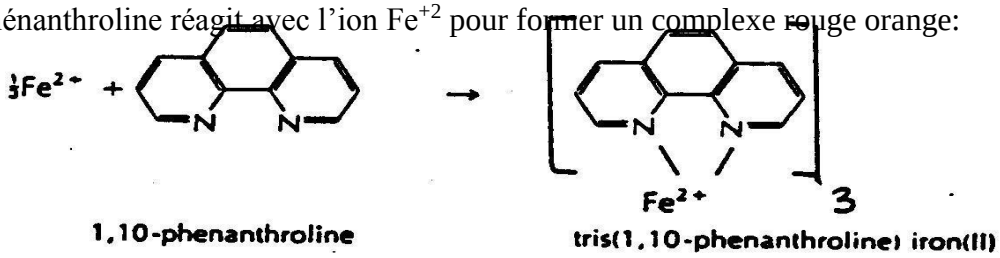
Pour ces dosages, il faut faire l'étalonnage et tracer la courbe d'étalonnage pour chaque paramètre afin de pouvoir facilement lire la teneur du paramètre dans le programme concerné. Les nitrates, nitrites, sulfates, manganèse total, l'ammonium sont dosés par cette méthode et les concentrations sont lues au spectrophotomètre en mg /l (annexe 6).

- ***Dosage du fer dissous (Fe^{2+}) et du Fer total (fe^{2+3+})***

Principe : L'ion ferreux (Fe^{+2}) forme avec la phénanthroline- l, l0 un complexe rouge qui est utilisé pour la détermination de faibles concentrations de fer. Tout d'abord, le Fe^{+3} est réduit en Fe^{+2} par l'addition d'hydroxylamine:

$$4\,Fe^{3+} + 2\,NH_20H \rightarrow 4\,Fe^{++} + N_20 + 4\,H^{+} + H_20 \quad (5)$$

La phénanthroline réagit avec l'ion Fe^{+2} pour former un complexe rouge orange:



- ***Turbidité***

Elle permet d'apprécier les matières en suspension dans l'eau. Elle se lit au turbidimètre.

Unité : NTU

4.2.2.4- Dosage par la méthode volumétrique

- ***Dosage des Chlorures (Cl^-)***

Les ions chlorures sont dosés par la méthode volumétrique et la teneur en ions chlorures est donnée par la formule suivante :

$[Cl^-]_{(mg/L)}$= V ($AgNO_3^-$) consommé × 7,1 **(6)**

L'annexe 3 nous donne le mode opératoire

- ***Titre Alcalimétrique Complet (TAC)***

Il sert à déterminer la teneur en bicarbonates de l'échantillon par la méthode volumétrique. Le mode opératoire est présenté en annexe 4

La teneur en bicarbonates est obtenue par la formule :

$[HCO_3^-]_{(mg/L)}$= TAC × 61/5 **(7)**

- ***Titre Alcalimétrique simple TA***

Il sert à déterminer la teneur en carbonates de l'échantillon par la méthode volumétrique. Il se dose lorsque le pH>8,2 et est exprimé en °F. Mode opératoire (annexe 6)

La teneur en carbonates est obtenue par la formule :

$[CO_3^{\ -}]_{(mg/L)}$= TA × 6 **(8)**

- ***Dosage des matières organiques (oxydabilité)***

L'oxydabilité est déterminée par la méthode volumétrique (annexe 6) selon l'expression :

[Matières organiques] $_{(mgO2/L)}$= [v($KMnO_4$) $_{consommé}$-1] × 2,96/4 **(9)**

Dosage par la méthode colorimétrique

Pour cette méthode on utilise un comparateur avec la plaquette de comparaison correspondante. Les concentrations du phosphate, de la silice, et du chlore libre dans l'eau sont exprimées en mg/l (annexe 4).

4.2.3- Modes et conditions de prélèvement des échantillons destinés aux analyses bactériologiques.

On dispose pour le prélèvement des flacons de 100 ou 125mL. Laver soigneusement les flacons, mettre 3 ou 5 gouttes de solution de thiosulfate de sodium 0,1N qui a pour rôle

d'empêcher l'action du chlore. On place entre les surfaces rodées une bande de papier filtrant d'environ 6 cm de longueur et 1 cm de largeur, ceci permet l'ouverture facile du flacon lors de l'utilisation et cette bande est enlevée lors de l'échantillonnage avant de remplir la bouteille. Ensuite le bouchon en verre et le goulot de la bouteille sont protégés contre les infections secondaires au moyen d'une feuille stérile d'aluminium. Enfin, ils sont mis dans le stérilisateur à la température 115°C pendant une durée de 7h.

Tous les matériels qui entrent en jeu lors de l'analyse bactériologique doivent être préalablement stérilisés dans l'étuve à la température de 115°C pendant une durée de 7h.

4.2.3.1- Prélèvement des échantillons

Le résultat de l'analyse bactériologique de l'eau dépend dans une large mesure du prélèvement correct des échantillons ;

Le prélèvement doit se faire dans des conditions stériles et les points de prélèvement doivent être soigneusement choisis.

Avant le prélèvement d'eau, nettoyer le robinet de prise et l'ouvrir pour laisser couler un peu d'eau. Apres l'avoir refermé, le sécher à la flamme jusqu'à ce qu'il soit complètement sec et qu'à l'ouverture on puisse entendre un sifflement intense. Après le séchage à la flamme on laisse de nouveau couler l'eau en jet pas trop épais pendant environ 5 minutes.

Ouverture du flacon : goulot vers le bas, secouer légèrement et avec précaution pour enlever la bande de papier filtrant. Remplir le flacon au 5/6 de son volume et refermer en évitant toute contamination surtout par contact avec le doigt.

4.2.3.2- Transport et conservation des échantillons

Pour éviter que les échantillons d'eau prélevés ne se modifient sur le plan bactériologique au cours du transport, les flacons d'échantillon doivent être placés dans des caisses calorifugées. Si la température extérieure est élevée, il faut prévoir un refroidissement supplémentaire. Dès leur arrivée au laboratoire les échantillons prélevés doivent être examinés immédiatement. Dans le cas contraire les échantillons doivent être conservés au réfrigérateur à une température de 4°C. Dans tous les cas, il s'avère indispensable de faire l'ensemencement dès l'arrivée des échantillons au laboratoire.

4.2.3.3- Dénombrement de colonies et recherche présomptive de coliformes

Pour déterminer le nombre de colonies (germes banales) d'un échantillon, on utilise la gélose nutritive (milieu de culture Agar-Agar).

On dispose de boite de pétri, des pipettes de 1mL graduées et le milieu de culture, tous

précédemment stérilisés.

On agite bien l'échantillon d'eau pour réaliser un mélange et on prélève 1mL dans les conditions stériles à l'aide de la pipette graduée dans la boite de pétri. Ensuite 10mL de la gélose nutritive liquéfiée et refroidie (environ 45°C), sont additionnés sans qu'il se forme des bulles d'air à l'eau introduite par la pipette dans la boite de pétri et on remue bien (comme pour décrire un <<8>>) de sorte à avoir un mélange homogène. Après solidification, on procède à l'incubation dans l'étuve bactériologique. On fait une première lecture après 24 heures et une seconde après 48 heures à compter à partir du temps d'incubation. Lorsque les colonies sont nombreuses on procède à une dilution de l'échantillon avec la solution de Ringer stérilisée.

Pour la recherche présomptive des coliformes, on utilise le bouillon Mac Conkey précédemment coulé dans des tubes à essai et stérilisé. On additionne 1mL de l'échantillon au bouillon et on agite pour avoir un mélange homogène.

Pour une eau saine, le bouillon Mac Conkey ne change pas de couleur. Mais lorsqu'il y a virage du bouillon et que les cloches se vident, on conclut alors que l'échantillon est souillé et il faudra faire des dilutions et filtration sur membrane pour rechercher les germes responsables de cette souillure sur des milieux de culture spécifiques.

4.2.3.4- Germes et milieux de culture

- ***Milieu Endo*** (stérilisation : 120°C pendant 15 minutes): utilisé pour l'isolement des coliformes
  - coliforme : coloration rose
  - les autres entérobactéries (salmonelles et shigella) : incolore

- ***Milieu EMB*** (stérilisation : 120°C pendant 15 minutes) : isolement et identification des entérobactéries
  - Salmonelles et shigella : incolore
  - E. colis : bleu foncé et présentant un reflet métallique en lumière réfléchie

- ***Milieu Gélose TSN*** (stérilisation : 118°C pendant 12 minutes) : isolement desclostridium perfrigens, température d'incubation 46°C
  - Clostridium perfrigens : coloration noire

- ***Milieu Chapman*** (stérilisation : 120°C pendant 15 minutes) : isolement des staphylocoques ; après 36h d'incubation on obtient
- Staphylocoques non pathogènes : petites et entourées d'une zone rouge ou pourpre
- Staphylocoques fermentant le mannitol sont entourées d'une zone jaune
- ***Milieu Slanetz et Bartley*** (pas de stérilisation) : isolement des streptocoques
- Colonies de streptocoques de couleur jaune pâle

4.2.4- Méthode utilisée pour la bathymétrie

Au cours de notre stage nous avons pris part aux travaux de la bathymétrie de la retenue d'eau de l'Okpara. Afin de rendre possible la prise des mesures par sonde des fonds du fleuve, les profils en travers ont été dégagés de plantes aquatiques par bande de 15 mètres tout comme l'axe du lit mineur, dégagés par bande de 3 mètres en vue de rendre la circulation par barque possible.

Le relevé bathymétrique a consisté essentiellement à la prise des profondeurs des eaux du fleuve sur les 7 profils et sur 15 km le long du lit mineur. Les profondeurs sont mesurées à environs tous les 10 mètres et les coordonnées x et y du point mesuré automatiquement intégrées. Quelques mesures systématiques telles que la hauteur des eaux sur la règle limnométrique du barrage, l'altitude de la surface des eaux du fleuve pris par rapport aux repères de profil. Ceci afin de définir l'altitude du fond du fleuve par rapport à celle des repères connus.

Certaines activités ont été réalisées.

4.2.4.1- Activités

Avec l'équipe bathymétrique / topographique nous avons exécuté les travaux suivant :

- Mis en place de bornes géodésiques (x, y, z), (photo 1) basées sur le repère de 1er ordre de Parakou (IGN), aux endroits suivants : l'usine de traitement de la SONEB dans la ville de PARAKOU ; la station de pompage de l'eau brute de la SONEB à côte du barrage de l'Okpara ; le déversoir nord, du barrage de l'Okpara. Puis la mise en place des repères (photo 2) sur les 7 profils pour servir de base aux travaux bathymétriques et autres travaux ultérieurs sur le fleuve.

Photo 1 : Borne géodésique

Photo 2: Repère de profil

(**Source** : KPATCHIA, 2014)

- La prise de 7 échantillons de sédiment en indiquant les coordonnées à raison d'un échantillon au milieu de chaque profil.
  La photo 3 montre une partie de prélèvement d'échantillons.

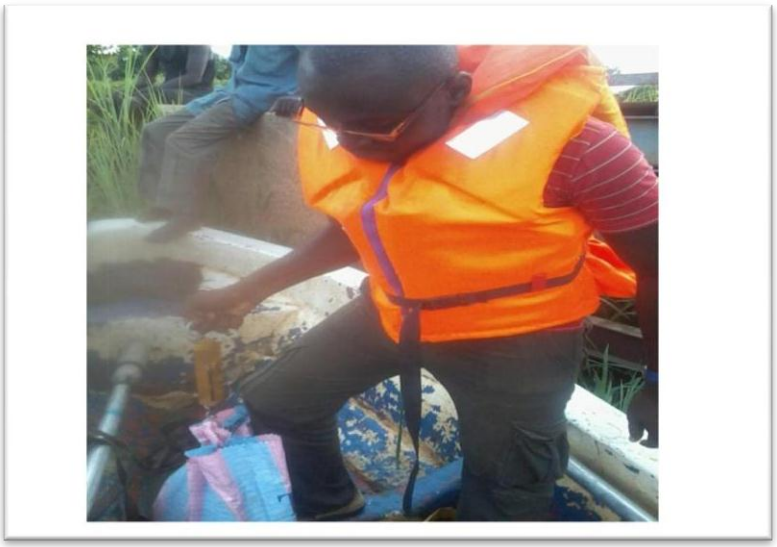


Photo 3: Prise et pesée des échantillons de sédiment

(**Source :** KPATCHIA, 2014)

- La bathymétrie Scenario 1 a été effectuée de la manière suivante :
  - 7 relevés bathymétriques de profil transversal en amont du barrage sur les coordonnées indiquées dans le tableau 1 et sur le long du lit mineur sur 15.000 mètres. (photo 4)
  - Indications (en mètre de profondeur) de la densité du lit du fleuve en utilisant

la sensitivité de l'équipe bathymétrique.

- Identification des plantes aquatiques présentes sur la retenue

No de Profil	Distance du barrage (m)	localisation sur le profil	X	Y
1	500	rive Est	470349,71	1026596,15
		rive Ouest	470751,40	1026556,89
2	1500	rive Est	470871,66	1027528,38
		rive Ouest	471155,20	1027456,88
3	3000	rive Est	471540,23	1028621,35
		rive Ouest	471621,41	1028514,33
4	5000	rive Est	471278,56	1029641,37
		rive Ouest	471286,51	1029700,46
5	7000	rive Est	470762,13	1031360,72
		rive Ouest	470798,96	1031312,00
6	10000	rive Est	471533,70	1033357,40
		rive Ouest	471582,75	1033354,27
7	15000	rive Est	471769,67	1037595,50
		rive Ouest	471797,08	1037604,03

(Source : projet ORIO, 2014)

Tableau 1: Coordonnées des profils pour les levés bathymétriques de la retenue d'eau de l'Okpara.

La photo 4 montre une partie des travaux de relevés bathymétriques.

Photo 4: Prise des mesures par écho sondeur

(**Source** : KPATCHIA, 2014)

RESULTATS

V. RESULTATS

5.1- Résultats

Sont présentées dans cette sous partie, les analyses de la période relatives à la physico-chimie et à la bactériologie d'une part et les résultats de l'étude bathymétrique de la retenue d'eau Okpara d'autre part.

5.1.1- Caractérisation de l'eau du barrage de l'Okpara avant, pendant et après le traitement actuel

Les résultats des analyses physico-chimiques de la station d'eau de Parakou sont mentionnés dans le tableau 2.

PARAMETRES		Station de PARAKOU			
Désignation	Unité	Eau brute	Eau pré chlorée	Eau traitée	Normes
Couleur	UCV	101,4	121,8	15,6	15
Turbidité	NTU	106	109	5,93	5.0
Température T	°C	26,7	25,5	29	28.7
pH		7,11	7,18	6,66	6.5 « PH«8.5
Conductivité électrique CE	µ S/cm	94	99	127	112.5
Alcalinité complète	°F	5,5	5,5	4	4 - 5
Alcalinité simple	°F	0	0	0	0
Chlorure CL-	mg /L	11,36	13,49	15,62	250
Sulfate SO2-	mg /L	0.60	0.60	4,08	500
Silice	mg /L	10	10	10	10
Calcium Ca2+	mg /L	10	10,72	10	100
Magnésium Mg2+	mg /L	3,27	3,27	3,27	50
Carbonates	mg /L	0	0	0	0
Bicarbonates HCO3-	mg /L	67,1	67,1	48,8	59.47
Dureté totale TH	°F	3,84	4,02	3,83	121.0
Extrait sec	mg /L	89,08	93,82	120,35	116 à 125
Oxygène dissous	mg /L	3,9	5,7	6	5 à 7
Gaz carbonique libre	mg /L	22,88	17,6	17,6	18
Gaz carbonique agressif	mg /L	23,33	19,8	16,22	15
Nitrates NO3-	mg /L	Nt	Nt	Nt	45
Nitrites NO2-	mg /L	2,87	1,78	0	3.2
Ammonium NH4+	mg /L	Nt	Nt	Nt	0.126

Tableau 2 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau brute, pré chlorée et traitée des prélèvements du 24/06/2014.

(Source : résultats des travaux, 2014)

Le tableau 2 présente les caractéristiques physico-chimiques des eaux étudiées. De l'analyse de ce tableau, il ressort que certains paramètres tels que le manganèse dissous, les phosphates, et les carbonates ne sont pas détectables dans ces différentes eaux. Par contre la couleur, la turbidité, le manganèse total, le fer total et le CO_2 sont très élevés dans l'eau brute, l'eau pré chlorée mais conforme aux normes admises par l'OMS dans l'eau traitée pour le fer total et le manganèse total.

5.1.2- Résultats des analyses bactériologiques.

Le contrôle microbiologique a été effectué aussi bien sur l'eau traitée que sur l'eau brute et l'eau en cours de traitement.

5.1.2.1- Population bactérienne des eaux analysées.

Les micro-organismes pathogènes apparaissent le plus souvent en faible quantité et ils sont aussi parfois relativement peu résistants. De ce fait, leur nombre diminue rapidement et ils échappent facilement au processus d'analyse. Par ailleurs, il est difficile et très long de chercher tous les organismes potentiellement pathogènes dans une eau. C'est pourquoi les tests bactériologiques visent à rechercher si l'eau destinée à la consommation a été contaminée ou pas, par des micro-organismes pathogènes, mais par des germes d'habitat fécal d'animaux à sang chaud. Présent en même temps que les pathogènes, ces germes sont en plus grand nombre et sont plus faciles à mettre en évidence.

Comme ces bactéries sont normalement présentes dans l'intestin de l'homme et des animaux, leur présence dans une eau permet de déceler une pollution d'origine fécale, d'en estimer l'importance et, de ce fait, d'évaluer le risque lié aux pathogènes.

En pratique, on recherche d'une part les organismes dits <<coliformes>> qui indiquent une pollution possible et d'autre part le colibacille fécal <<Escherichia coli>> contaminant fécal indiscutable. La mise en évidence de streptocoques fécaux et du germe anaérobie clostridium sulfito réducteur permet une confirmation de la nature fécale de pollution.

L'algorithme des analyses biologiques (annexe 6) nous a permis de présenter les résultats (tableau 3).

Ainsi, au cours de la période nous avons effectué les analyses biologiques sur au total 338 échantillons d'eau. Ces derniers présentent des caractéristiques regroupées en 7 catégories.

Paramètres	Catégories						
	a	**B**	**C**	**d**	**E**	**f**	**G**
Dénombrement des germes totaux en 48h à 37 °C	<10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Recherche présomptive des coliformes totaux	0	0	Positif (Pseudomonas, Staphylocoques, coliformes telluriques ou aquatiques, Aéromonas)	Positif	Positif	Positif	Positif
Recherche présomptive des coliformes fécaux	0	0	0	Positif	Positif	Positif	Positif
Dénombrement des Echérichia coli	0	0	0	0	Positif	0	Positif
Dénombrement des Streptocoques fécaux	0	0	0	0	0	Positif	Positif
Conclusion	eau saine	eau suspecte	eau fortement suspecte	eau souillée	eau fortement souillée	eau polluée	eau fortement polluée

Tableau 3 : Paramètres biologiques illustrant la qualité de l'eau.
(**Source** : ZOGO, 2014)

Les résultats des 338 échantillons d'eau analysés durant notre séjour au laboratoire sont illustrés par la figure 2 ci-dessous.

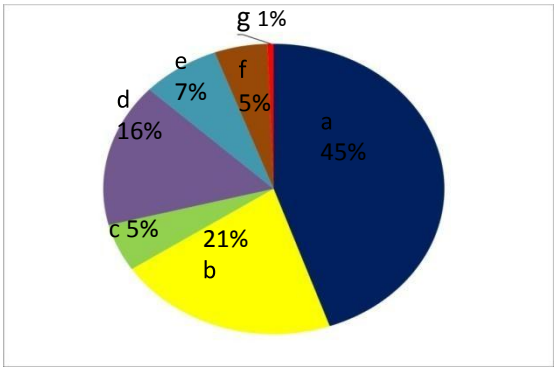


Figure 2: les différentes qualités biologiques des eaux analysées **(Source**: résultats des travaux, 2014).

L'analyse de ce graphe montre les proportions des 338 échantillons d'eau analysés en

fonction de leur qualité.

La couleur bleu foncé (a) qui est la plus dominante correspond à 151 échantillons d'eau saine soit environ 45% des échantillons analysés. La couleur jaune (b) représente 71 échantillons d'eau suspecte soit environ 21% des échantillons analysés. La couleur violet (d) correspond à 54 échantillons d'eau souillée soit environ 16% des échantillons analysés.

La couleur bleu claire (e) indique 25 échantillons d'eau fortement souillée soit environ 7% des échantillons analysés. La couleur verte (c) représente 18 échantillons d'eau fortement suspecte soit environ 5% des échantillons analysés. La couleur marron (f) indique 17 échantillons d'eau polluée soit environ 5% des échantillons analysés. La couleur rouge (g) enfin qui est la moins dominante correspond à 2 échantillons d'eau fortement polluée soit environ 1% des échantillons analysés.

5.1.2.2- Présence du chlore résiduel libre dans les eaux analysées

Le chlore résiduel libre est un désinfectant dont la présence dans l'eau permet de savoir d'une part si l'eau est traitée et d'autre part si le traitement est efficace.

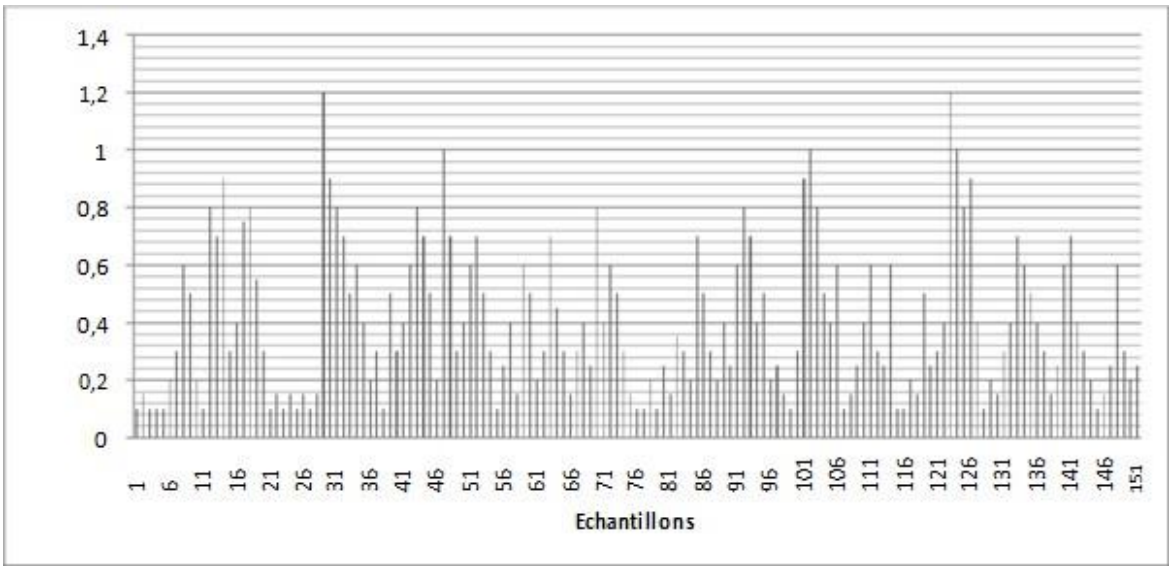


Figure 3 : Variation du chlore en fonction des échantillons d'eaux saines (chlore résiduel libre pour la catégorie a) **(Source** : résultats des travaux, 2014)

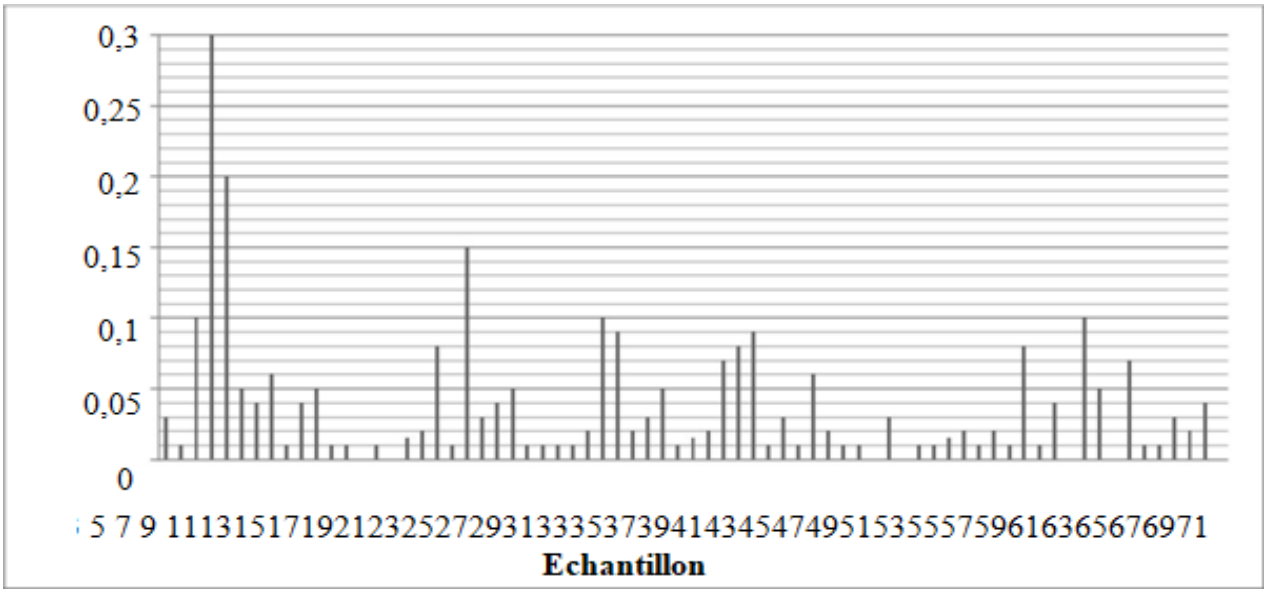


Figure 4 : Variation du chlore en fonction des échantillons d'eaux suspectes (chlore résiduel libre pour la catégorie b) **(Source** : résultats des travaux, 2014)

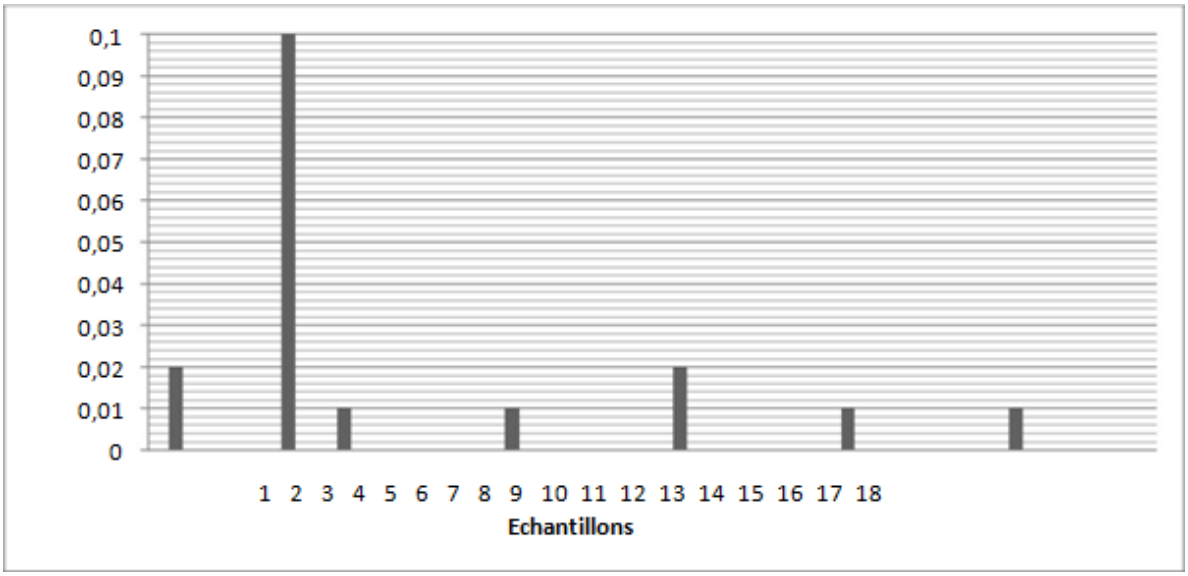


Figure 5: Variation du chlore en fonction des échantillons d'eaux fortement suspectes (chlore résiduel libre pour la catégorie c) **(Source** : résultats des travaux, 2014)

Les graphes de la figure 3 traduisent la variation du chlore résiduel libre en fonction des échantillons d'eau. Pour la figure 3, les échantillons d'eaux saines (a) contiennent le chlore résiduel libre à des valeurs comprises entre 0,1 et 1,2 mg/l d'eau. La figure 4 montre la variation du chlore résiduel libre à des valeurs comprises entre 0 et 0,3 mg/l pour les échantillons d'eaux suspectes (b). La figure 5 quant à elle présente la variation du chlore résiduel libre a des valeurs comprises entre 0 et 0,1 mg /l pour les eaux fortement suspectes (c). Les échantillons d'eau souillée (d), fortement souillée (e), polluée (f) et fortement polluée

(g) ne contiennent pas du chlore résiduel libre ou en contiennent en très faible quantité. Ce

sont pour la plupart les eaux brutes (n'ayant pas encore subit la désinfection) ou en cours de traitement ou même parfois les eaux traitées.

5.1.3- Bathymétrie de la retenue d'eau

L'étude de la bathymétrie de la retenue d'eau de l'Okpara a permis d'évaluer le volume d'eau sur une superficie de la cuvette qui est de 190 hectares et de vérifier les changements entre la situation en 1972 avec la situation actuelle. Avec les données bathymétriques nous avons estimé la quantité de sédiment qui s'est accumulée dans la retenue pendant ces dernières années.

La bathymétrie de la retenue à révéler d'après le Projet ORIO :

- La profondeur moyenne de la retenue d'eau est de 3,5 m pour une profondeur maximale de 7,5 mètres.
- La présence des plantes aquatiques sur 7 km en amont du barrage
- La qualité d'eau est dans les normes
- Le volume à l'origine (1972) était de 9,4 million de m^3
- Le volume de sédiment en 2014 est de 1,2 million de m^3
- Le volume restant est de 8,2 million de m^3
- Le niveau du barrage calibré sur IGN premier ordre de Parakou n'a pas changé. L'étude de la disponibilité d'eau brute pour l'eau potable qui est l'objectif principal du projet ORIO a montré que :

- la disponibilité volumétrique et la disponibilité en temps sont suffisantes pour 2025
- la disponibilité volumétrique est critique pour la période 2025 -2040
- le dragage de la retenue est envisageable au-delà de 2025

En ce qui concerne l'état trophique de la retenue, 7 espèces de plantes aquatiques couvrent la retenue. Il s'agit de : ***Echinochloa stagnina, Scirpus cubensis, Polygonum salicifolium***, ***Nymphaea lotus, Ceratophyllum demerson, Salvinia nymphellula*** et d'***Eichornia Crassipes.*** Cela explique les différents aspectsdu plan d'eau selon les saisons (Photo 5 a-g).

Photo 5a:*Echinochloa stagnina (Poacées)* **Photo 5b** :*Scirpus cubensis (Cyperacées)*

Photo 5c:*Polygonum salicifolium*

Photo 5d *Nymphaea lotus (Nymphaeacées)*

Photo 5e:*Ceratophyllum demerson* (Ceratophyllacées)

Photo 5f:*Salvinia nymphellula*(Salviniaceae)

Photo 5g:*Eichornia Crassipes* (Pontédériacées)

(**Source** : KPATCHIA, 2014)

Pendant la saison sèche le couvert végétal du plan d'eau de la retenue est presqu'inexistant (photo 6a). En revanche il se reconstitue rapidement pendant la saison des pluies (photo 6b). Cela s'explique par le fait que, d'une part les plantes sont charriées de l'amont par le fort courant d'eau et d'autre part, par un développement rapide des plantes aquatiques dû à la richesse des eaux de ruissellement vers la retenue.

Photo 6a: Plan d'eau de la retenue en saison sèche
(**Source** : KPATCHIA, 2014).

Photo 6b: Plan d'eau de la retenue en saison des pluies
(Source : KPATCHIA, 2014).

DISCUSSION ET ANALYSES

VI. DISCUSSION ET ANALYSES

6.1- Caractéristiques physico chimiques

Des quatre principales sources d'eaux brutes (eaux de pluie, eaux de surface, eaux souterraines, eaux de mer), deux sont généralement utilisées pour l'Approvisionnement en Eau Potable. Il s'agit des eaux de surfaces et des eaux souterraines.

Les interactions de la source et le milieu environnant reflètent les caractéristiques générales de chacune de ces deux sources.

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saison	Relativement constante
Turbidité (vraies ou colloïdales)	Variable, parfois élevée	Faible ou nul (sauf en terrain kastique)
Couleur	Liée surtout aux MES (argile, algues…) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques par exemple)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains des précipitations, des rejets…	Sensiblement constante en général nettement plus élevé que dans les eaux de surface de la même région
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	Généralement absents sauf en profondeur des pièces d'eau en état eutrophisation	Généralement présents
CO_2 agressif	Généralement absent	Souvent présents en grande quantité
O_2 dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eau très polluée	Absent la plupart des temps
H_2S	Généralement absent	Souvent présent
NH_4^+	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux des pays développés, mais susceptibles de disparaitre rapidement après suppression	Généralement absent mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus

	de la source	Longtemps.
Éléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes) virus, plancton animal et végétal)	Ferro bactéries fréquentes
Pesticides	Souvent présents, concentration variable selon la saison	Souvent présent dans les eaux souterraines, mal protégées

Tableau 4: Caractéristiques des eaux de surface et souterraines.

6.2- Caractéristiques biologiques

L'eau est caractérisée par la présence des êtres vivants qui peuvent jouer un rôle dans les phénomènes de pollution :

- Soit parce qu'ils sont pathogènes (bactéries, virus, parasites) ou indésirables (pullulation d'algues…) ;
- Soit parce qu'ils contribuent au phénomène de pollution (bioaccumulation dans les chaînes alimentaire…) ;
- Soit parce que leur disparition est en elle-même, une altération du milieu (perte pour la pêche, le tourisme, le cadre de vie…).

Au-delà de ces rôles directs, les êtres vivants peuvent plus généralement être considérés comme des indicateurs de niveau de pollution (bio indicateur).

De plus, l'écotoxicologue fait appel à de nombreux être vivants pour évaluer la toxicité des substances (bio essais)

Les êtres vivants généralement recherchés dans l'eau destinée à AEP, comme principaux témoins de contamination sont : Germes banals ou autochtones, Schigella, Algues, champignons, protozoaires, Vibrions cholériques, Salmonella, et les Streptocoques fécaux, Clostridium perfringens, Staphylocoques, Escherichia coli, Coliformes totaux qui sont d'origine fécale.

- **Normes des paramètres de qualité des eaux destinées à la consommation humaine**

Le décret 2001-094 du 20 févier 2001 fixe les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin.

- **Les Normes microbiologiques**

Une eau destinée à la consommation humaine est conforme aux normes de qualité microbiologique présentées en annexe 6.

- **Les Normes physico-chimiques**

Une eau destinée à la consommation humaine est conforme aux normes de qualité physico-chimique présentées en annexe 7.

L'article 23 du décret 2001-094 du 20 février 2001 fixe la fréquence de prélèvement des échantillons à la sortie de la station de traitement et chez l'abonné comme suit :

Population desservie	Fréquence d'échantillonnage
<1000	1/mois
1001 – 5000	4/mois
5001 – 100.000	5-100/mois
>100.000	110/mois

Table au 5 : Fréquence de prélèvement.

6.3- Physico-chimie

Les mesures des paramètres physico-chimiques étudiés donnent les caractéristiques de l'eau brute, pré chlorée et traitée. Ainsi nous constatons que les valeurs de pH sont comprises entre 6,5 et 8,5 comme le recommande l'OMS.

La turbidité et la couleur qu'apprécie le consommateur à travers ses sens sont à l'origine de la quasi-totalité des plaintes des abonnés sur le réseau de distribution. Ces deux paramètres ne respectent pas les normes admises par l'OMS avec des valeurs : 5,93 NTU contre 5 NTU (valeur admise) pour la turbidité et 15,6 UCV contre 15 UCV (valeur admise) pour la couleur au niveau de l'eau traitée. Pour les eaux brutes et en cours de traitement ces paramètres sont très élevés avec en moyenne 107 NTU pour la turbidité et 26 UCV pour la couleur, cela est dû aux matières en suspension, aux colloïdes, aux composés organiques et quelques éléments chimiques.

La température quant à elle joue un rôle primordial dans l'évapotranspiration des eaux (ANANI, 2009). Les températures dans l'eau brute, l'eau pré chlorée et l'eau traitée sont respectivement 26,7°C, 25,5°C et 29°C. Ces valeurs sont supérieures à la norme admise par l'OMS, qui est de 25°C pour les eaux d'alimentation. Cette élévation de la température pourrait mettre en cause la qualité de ces eaux.

Les valeurs obtenues pour le TAC des eaux étudiées sont inférieures à la norme (8°F) fixée par l'OMS. Les valeurs sont 5,5 °F pour l'eau brute; 5,5°F pour l'eau pré chlorée et 4°Fpour l'eau traitée. Ces faibles teneurs de TAC peuvent s'expliquer par une faible concentration des eaux étudiées en ions bicarbonates et carbonates.

Les ions tels que les chlorures, les sulfates, le calcium, le magnésium et les phosphates ont des valeurs comprises, d'après l'analyse des différentes eaux, respectivement entre (11,36 et 15,62) ; (0.60 et 4,08) ; (10 et 10,70) ; (3 et 3,27), (0) le tout en mg/l. Ces valeurs obtenues pour chaque ion respectent les valeurs maximales fixées par l'OMS qui sont 250 mg /l pour

les chlorures et les sulfates, 100 mg/l pour le calcium, 50 mg/l pour le magnésium et 5 mg/l pour le phosphate.

Le manganèse total et le fer total sont élevés dans l'eau brute et l'eau pré chlorée mais respectent les normes admises par l'OMS dans l'eau traitée. Ces normes sont 0,2 mg/l au maximum pour le fer total et 0,05mg/l au maximum pour le manganèse total.

Selon l'OMS, l'oxygène dissous doit être compris entre 5 et 8 mg/l dans une eau destinée à la consommation. Pour les eaux étudiées, les valeurs obtenues sont conformes à la norme au niveau de l'eau pré chlorée et de l'eau traitée puis inférieure à cette norme pour l'eau brute.

La concentration maximale admissible en CO_2 libre et agressif par l'OMS est 8 mg/l. Selon QUENUM, (2009) l'eau a un caractère agressif, si sa concentration en CO_2 agressif est supérieure à 8 mg/l. Les teneurs en CO_2 libre obtenues dans l'eau brute, pré chlorée et traitée sont respectivement 22 ,88 mg/l ; 17,6 mg/l et 17,6 mg/l. Ces valeurs dépassent largement la norme admise. Il en est de même pour les teneurs en CO_2 agressif, on peut donc dire que ces eaux sont agressives.

6.4- Bactériologie

Selon l'OMS une eau destinée à la consommation humaine peut contenir des germes banals qui sont au maximum 20 pour une eau désinfectée et 50 pour une eau non désinfectée. Les eaux de la catégorie a et b, respectent les normes admises par l'OMS. Ces eaux peuvent être consommées sans risque de maladie.

Les eaux des catégories c, d, e, f sont des eaux soit traitées soit en cours de traitement. Pour les eaux traitées, la présence de bactéries coliformes dans une eau de distribution publique, qu'il s'agisse de coliformes d'origine fécale ou non est inacceptable selon les normes bactériologiques reconnues par l'OMS. Leur présence dans l'eau traitée indique soit un traitement inadéquat, soit une recontamination de cette eau, soit encore de mauvaises techniques de prélèvement ou d'analyse. Il y a lieu de s'interroger sur l'origine du micro-organisme et de vérifier les différentes étapes du traitement de l'eau.

Les eaux de la catégorie g ne sont pas traitées donc elles sont à l'état brut. Il est reconnu qu'un traitement adéquat, assorti d'une surveillance consciencieuse des différentes étapes de la purification, peut enlever toutes les bactéries coliformes de l'eau brute.

La mesure du chlore résiduel libre est en effet un moyen de surveiller le traitement mais, elle peut être aussi une estimation prévisionnelle du risque. Selon l'OMS, à la sortie de la station de traitement, on mesure un minimum de 0,40mg/l et un maximum de 0,80mg/l de chlore résiduel libre ; au niveau de l'abonné, on mesure un minimum de 0,1mg/l de chlore résiduel libre. Les eaux de la catégorie g ne sont pas traitées (eau brute) d'où l'absence du chlore

résiduel. Les eaux traitées des catégories d, e, f ne respectent pas les normes recommandées par l'OMS vu l'absence du chlore dans ces eaux tout comme les échantillons d'eau de la catégorie c (chlore résiduel <0,1mg/l). Par contre les échantillons d'eaux de la catégorie a (chlore résiduel variant entre 0,1 et 1,2mg/l) et b (chlore résiduel variant entre 0 et 0,3mg/l) à l'exception de ceux inférieur à 0,1 respectent en partie ces normes. La quantité de chlore résiduel libre dans les échantillons d'eau analysés diminue au fur à mesure que la qualité de l'eau se dégrade ; autrement dit le chlore améliore la qualité de l'eau et le maintien comme tel grâce à son pouvoir de désinfection et de rémanence.

6.5- Bathymétrie

La retenue d'eau de l'Okpara a une profondeur moyenne de 3,5 m avec 7,5 m comme profondeur maximale sur une superficie de la cuvette qui est de 190 hectares. L'objectif principal du projet ORIO est de garantir l'approvisionnement en eau potable à Parakou jusqu'en 2025. Ceci étant, en nous basant sur la croissance démographique qui est en moyenne 4,9% nous pouvons déduire la population en 2025 puis celle en 2040 qui sont respectivement

et 925.000. La demande en eau quant à elle, est estimée en 2025 et en 2040 respectivement à 10,6 million m^3 et à 33,7 million m^3. D'après le projet ORIO jusqu'à l'an 2025, la retenue d'eau captée par le barrage d'Okpara, est suffisante pour les besoins en eau de la ville de Parakou. Après l'an 2025 la situation peut-être critique. Une révision de cette prévision sera nécessaire sur base des recensements de la population qui seront disponibles dans les années 2020.

6.6- Eutrophisation

L'état trophique de la retenue a révélé, qu'en dehors des six espèces de plantes aquatiques dénombrées au cours des travaux de ZOGO en 2010, il est apparu une nouvelle espèce sur la retenue. Il s'agit d'***Eichornia Crassipes*** appelé vulgairement jacinthe d'eau identifiée à la suite des dernières pluies. Les figures permettent d'expliquer que la plupart de ces plantes ne poussent pas sur le plan d'eau mais sont charriées de l'amont par un fort courant d'eau d'où la reconstitution rapide en moins d'un mois de la couverture végétale au niveau de la retenue après les grandes pluies. Ces plantes utilisent l'oxygène de l'eau et créent un climat favorable pour le développement des vecteurs des maladies d'origine hydrique.

6.7- **Contribution Analytique**.

Des actions peuvent être entreprises pour juguler les problèmes liés à l'alimentation en eau potable dans la ville de Parakou. A cet effet les approches de solution suivantes pourraient être appliquées :

Au niveau de la station de pompage Okpara

- Matériel et équipements

- Réhabiliter les ouvrages de captage (tour de prise) ou en construire une autre au cours du projet ORIO
- Prévoir un groupe secours de l'énergie électrique proposé par le projet ORIO
- Poser une deuxième conduite DN 700 de préférence PEHD pour renforcer le transport d'eau brute vers le dessableur tel que mentionné par le projet ORIO ;
- Réhabiliter le logement du responsable de la station et prévoir des logements pour les agents de quart.

Quant à la retenue

- Accélérer les travaux de réfection du déversoir latéral confié au génie militaire financé sur le budget national (PIP) et de la digue,
- Créer un périmètre de protection de la retenue à reboiser conformément au décret N°2011-671 du 5 octobre 2011 fixant les procédures de délimitation des périmètres de protection;
- Sensibiliser les riverains du barrage et ceux situés sur le bassin versant pour éviter la pollution de la retenue ;
- Débarrasser la retenue des plantes aquatiques qui la colonisent

Au niveau du laboratoire

- Matériel et équipement

- Agrandir le laboratoire
- Equiper le laboratoire en matériels et réactif adéquat

Au niveau de l'usine

- ***Matériel et équipement***

- Rendre autonome l'usine en énergie électrique ;
- Réhabiliter les filtres existant et prévoir d'autre dans le cadre du renforcement de la production;
- Disposer d'une maintenance préventive afin de garantir aux ouvrages de traitement un meilleur rendement ;
- Réhabiliter les ouvrages de traitement de l'usine d'eau et de la station

Au niveau du réseau

- Augmenter les points de vidange sur le réseau de distribution ;
- Mettre en place un mécanisme d'information sur tous travaux de réparation de grosses conduites de diamètre supérieur à 100 surtout entre le laboratoire et le service de distribution en vue de procéder à la désinfection du réseau à la suite des travaux avant sa remise en service cf. fiche de renseignements (annexe 7) ;
- Sectoriser le réseau de distribution pour circonscrire les casses ;
- Densifier le réseau de distribution pour la bonne répartition de l'eau dans la ville.

Au niveau du Personnel de la DRPA

- Affecter un technicien supérieur ayant des notions de mécanique et d'électricité pour suppléer au chef de la station en vue de prendre la relève ;
- Renforcer le personnel de quart par des agents titulaires de CAP en mécanique, en électricité et en plomberie ;
- Recruter un technicien supérieur en chimie pour suppléer au chef de production en vue de prendre la relève dès son départ du laboratoire ;
- Former un chauffeur préleveur ;
- Recruter deux chimistes ;
- Affecter un technicien supérieur ayant des notions de mécanique et d'électricité pour suppléer au chef de la station en vue d'assurer la relève ;
- Renforcer le personnel de quart par des agents titulaire de CAP en mécanique, en électricité, et en plomberie.

CONCLUSION

VII. CONCLUSION

Ce stage pratique effectué sur une période de sept mois nous a permis de cerner les problèmes liés à l'alimentation en eau potable de la ville de Parakou et de ses environs. Les travaux au laboratoire régional ont été destinés à apprécier les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau brute provenant de l'Okpara, de l'eau sous traitement à travers les différentes étapes du traitement et de l'eau traitée recueillie au robinet sur le réseau de distribution. Les résultats des analyses effectuées permettent de conclure que les paramètres microbiologiques et chimiques indicateurs des limites de qualité suivant les recommandations de l'OMS sont respectés pour les mesures effectuées. En revanche, ceux servant de référence de qualité suivant la même recommandation sont parfois dépassés. Il s'agit d'une part des germes banals (germe aérobie revivifiable) dont la population se trouve en excès et d'autres part des caractéristiques organoleptiques de l'eau en particulier la turbidité, la couleur, le gout, l'alcalinité, dont les valeurs ne sont pas conforme aux normes en la matière en République du Bénin confère le décret N°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité en eau potable en république du Bénin.

En outre le chlore résiduel au robinet des clients, devant marqué l'efficacité du traitement de désinfection, traitement ultime appliqué au départ de la station n'est pas souvent retrouvé à la teneur requise.

Sur 338 échantillons analysés au cours de notre stage aucun échantillon d'eau traitée prélevé sur le réseau ne contient de germes indicateurs de pollution fécale pour être déclarer polluer. Cependant si 151 échantillons sont exempts de tout microorganisme ou contiennent moins de 10 germes par litre et ont été par conséquent déclarés sains, 71 sont <suspectes> parce que contenant plus de 10 germes banales et 54 <souillés> car en dehors de leur teneur innombrable de germes banales ils contiennent des champignons non identifiés.

Notre séjour au service technique de l'exploitation a été l'occasion pour nous de suivre les travaux de la bathymétrie de la retenue de l'Okpara. À l'issue de ces travaux menés dans le cadre du projet ORIO, il a été révélé que la quantité d'eau disponible est de 8,2 million de m^3 au lieu de 7,5 million évoqué par les études antérieures. Les résultats de cette bathymétrie ont dissipé les inquiétudes quant à la capacité réelle du barrage à fournir l'eau pour le renforcement du système de l'AEP à Parakou à l'horizon 2025.

La retenue de l'Okpara demeure soumise à une forte colonisation végétale du fait de son état trophique. En plus des six espèces de plantes aquatiques dénombrées par ZOGO lors de ces travaux en 2010, il est apparu une nouvelle espèce. Il s'agit d'***Eichornia Crassipes*** appelé

vulgairement jacinthe d'eau identifiée à la suite des dernières pluies. La particularité de cette colonisation est que la majorité des plantes ne poussent pas toutes sur le plan de la retenue d'eau, mais charrié de l'amont par le fort courant d'eau. Cela explique la reconstitution rapide en moins d'un mois de la couverture végétale au niveau de la retenue après les grandes pluies. Rappelons que notre travail s'est déroulé pendant la saison des pluies de l'année 2014-2015, du mois de juin 2014 au mois de Janvier 2015. Qu'elle soit physico-chimique ou bactériologique la pollution des retenues d'eau à ciel ouvert est accentuée pendant la saison pluvieuse. Ceci étant, les résultats obtenus sont insuffisants pour tirer une conclusion. Il faudra répéter les analyses tout au moins trois fois pendant la saison des pluies et faire de même pendant la saison sèche. S'agissant de la bathymétrie les études peuvent être répétées au moins tous les cinq ans pour plus de fiabilité.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **ADJAGODO A.** (2010) : *Contribution à l'étude de la dynamique sédimentaire de la retenue d'eau de l'Okpara*, Rapport de licence professionnelle en hydrologie FAST/ UAC, 50p.

2. **Cenatel, (**2003).*Banques de données intégrées*. Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche (MAEP), Bénin.

3. **Centre d'expertise hydrique du Québec** (2008), *Guide pour l'évaluation de la capacité de la retenue par bathymétrie,* 12p.

4. **COULIBALY K.** (2005), *Etude de la Qualité Physico-Chimique et Bactériologique de l'Eau des Puits de Certain Quartiers du District de Bamako,* Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Pharmacie. 69p

5. **DEGREMONT**, (1989) : *Mémento technique de l'eau*. Tome 1, 10ième édition.785p

6. **DESJARDINS R.** (1997), *Le traitement des eaux*. 2ème Edition, Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal, 304p.

7. **GAUJOUS D.** (1995) **:** *La pollution des milieux aquatiques*, Aide-mémoire, 2èédition revue et augmenté, diffusion Lavoisier, 217 p

8. **HOUEHA Y.** (2005) Usine de Traitement d'Eau de Parakou**,** Rapport de Stage**,** 28p

9. **LEBARBE L.** (1993).*Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin*. Ed : OSTROM Collection : Monographie n°1 Paris 540p

10. **LONGERE, P., DOREL D., MARIN J.** (1972), *Etude Bathymétrique et Sédimentologique des étangs de Diane et D'Urbino en en Corse,* 45 p.

11. **Ministère des Travaux publics Administration des Voies hydrauliques Service des Barrages,** *Les barrage Belges*, 68 p

12. **Organisation Mondiale de la Santé,** (2004) : *Directives pour l'eau de boisson*, 3èédition. (vol1), Genève 2004. 111p

13. **Revue du centre Belge d'Etude et de documentation (1996),** *Tribune de l'eau,* Vol 49 (N°2), 64p

14. **Revue du centre Belge d'Etude et de documentation (1994),** *Tribune de l'eau*, Vol 47 (N°3), 75p

15. **Revue du centre Belge d'Etude et de documentation (2002),** *Contrôle, Mesure et Automatisation dans le secteur de l'eau,* Tribune de l'eau, Vol 55(N^{os}2-3), 115p

16. **RODIER J. (1984) :** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. DUNOP. 7ème édition Bordas Paris, 1362p

17. **SAVI D. B. H**. (2010), *Contribution au suivi du Fonctionnement d'une tour de dégazage à la station d'eau de la Soneb à Godomey,* Rapport de licence professionnelle EPAC/ UAC, 46p

18. **SBEE**, (1990) : *Rapport de l'étude hydraulique et hydrologique de la zone de Parakou*. Ministère de l'Energie et de l'eau, 40p

19. **SESSINOU B.** (2012)**,** *Optimisation du traitement de l'eau de surface de Savalou,* Rapport de licence professionnelle USTB/UAC, 60p

20. **TOKOUETE M. D. S**. (2010), Etude *de l'évolution de l'intrusion saline dans la nappe captive exploité par la Soneb sur le champ de captage de Godomey de 2005-2010*, Rapport de licence professionnelle EPAC/ UAC, 42p

21. **ZANNOU. A. B. Y.,** *(2011), Analyse et Modélisation du Cycle Hydrologique Continental pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Bénin : Cas du Bassin de l'Ouémé à Bétérou,* Thèse de Doctorat FAST/ UAC, 315p

22. **ZOGO D.** (2010) *Etude de l'Elimination du Fer et du Manganèse lors de la Potabilisation de l'eau d'une Retenue en cours d'Eutrophisation : cas de la Retenue de la Retenue d'eau de l'Okpara à Parakou au Bénin*, Thèse de Doctorante chimie et Application, Université d'Abomey Calavi, 205p

23. **ZOGO D., SOCLO H., BAWA M., GBAGUIDI M.** : *Distribution des Résidus de Fer et de Manganèse le Long de la Colonne d'une Retenue d'Eau en Cours d'Eutrophisation: Cas du Barrage de L'Okpara à Parakou au Bénin*, tribune de l'eau N°642, Article, 14p

24. **ZOGO D., BAWA M., SOCLO H., ATCHEKPE D.** (2011) :*Influence of pre-oxidation with potassium permanganate on the efficiency of iron and manganese removal from surface water by coagulation-flocculation using aluminum sulphate: Case of the Okpara dam in the Republic of Benin*, Article, 14 p

25. **ZOGO D., BAWA M., SOCLO H., DJANÉYÉ-BOUNDJOU, ATCHEKPE D.** (2010): *Effect of pre-chlorination on the efficiency of iron and manganese removal from surface water by coagulation-flocculation using aluminum sulphate: case of the Okpara dam in the Republic of Benin,* Article, 9 p

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

- **Annexe 1 :** Caractéristiques morphologiques du bassin versant de la retenue d'eau de l'Okpara d'après ex-SBEE
- **Annexe 2:** Normes microbiologiques d'après l'article 11 du décret 2001-094 du 20 février2001
- **Annexe 3**: Normes physico-chimiques d'après l'article 17 du décret 2001-094 du 20 février2001
- **Annexe 4 :** Modes opératoires des différents dosages
- **Annexe 5 :** Algorithme des analyses bactériologiques
- **Annexe 6 :** fiche de renseignement
- **Annexe 7**: fiche des analyses physico-chimiques et bactériologiques
- **Annexe 8**: Décanteur ACCELATOR
- **Annexe 9**: Photos des appareils utilisés au laboratoire
- **Annexe 10**: Photos du matériel utilisé pour les travaux de bathymétrie
- **Annexe 11 :** Organisation de la DRPA
- **Annexe 12 :** Carte du réseau hydrographique de la commune de Parakou
- **Annexe 13 :** Carte du Projet ORIO

ANNEXE 1 : Caractéristiques morphologiques du bassin versant de la retenue d'eau de l'Okpara d'après ex-SBEE

Rubriques	**Valeurs**
Superficie du bassin versant S (Km^2)	2070
Périmètre du bassin versant P (Km)	217
Longueur du cours d'eau Le (Km)	117
Altitude maximale HMax (Km)	424
Altitude minimale HMin (Km)	295
Indice de compacté Ke	1,31
Longueur du rectangle équivalent L (km)	78,5
Largeur du rectangle équivalent l (Km)	25,5
Indice de pente Ig (m/Km)	1,6
Dénivelé spécifique Ds (m)	73,5

Annexe 2: Normes microbiologiques d'après l'article 11 du décret 2001-094 du 20 février2001

Paramètres	Unités	Normes		Méthodes
		Eau non désinfectée	Eau désinfectée	
Algues, champignons, protozoaires	Nbre/ml	0	0	Identification par microscope optique
Germes banals ou autochtones	Nbre/ml	50	20	Dénombrement direct par numérotation de colonies isolées après ensemencement sur milieu solide
Schigella	Nbre/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membranes cellulosique de 0,45 µm et ensemencement sur milieu solide
Streptocoques fécaux	Nbre/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membranes cellulosique de 0,45 µm et ensemencement sur milieu solide
Salmonella	Nbre/100ml	0	0	Dénombrement direct par numérotation de colonies isolées après ensemencement sur milieu solide
Clostridium perfringens	Nbre/20ml	2	0	Dénombrement direct par numérotation de colonies isolées après ensemencement sur milieu solide
Staphylocoques	Nbre/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membranes cellulosique de 0,45 µm et ensemencement sur milieu solide
Escherichia coli	Nbre/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membranes cellulosique de 0,45 µm et ensemencement sur milieu solide
Coliformes totaux	Nbre/100ml	0	0	Dénombrement par filtration sur membranes cellulosique de 0,45 µm et ensemencement sur milieu solide
Vibrions cholériques	Nbre/100ml	0	0	Identification par microscope optique

Annexe 3: Normes physico-chimiques d'après l'article 17 du décret 2001-094 du 20 février2001

Paramètres	Unité	Valeur maximale permise
Paramètres Physique		
Turbidité	UTN	5
Paramètres chimiques inorganiques		
Nitrates	mg/L ; mg/N/L	45; 10
Nitrites	mg/L; mg/N/L	3,2; 0,1
Sulfates	mg/L	500
Ph	unités pH	6,5<pH<8,5
NORMES OPERATIONNELLES Paramètres physico-chimiques		
Calcium	mg/L	100
Chlorures	mg/L	250
Couleur	UCV	15
Dureté	mg/L	200
Fer	mg/L	0,3
Goût		Inoffensif
Magnésium	mg/L	50
Manganèse	mg/L	0,1
Zinc	mg/L	3

L'article 23 du décret 2001-094 du 20 février 2001 fixe la fréquence de prélèvement des échantillons à la sortie de la station de traitement et chez l'abonné comme suit :

Annexe 4 : Modes opératoires des différents dosages

- ***Dosage de l'oxygène dissous***

-remplir le flacon de dosage de l'échantillon

-ajouter 5 gouttes de chacun des réactifs 1 et 2 du coffret Aquamerck

-laisser au repos 1 minute, puis ajout de 10 gouttes du réactif 3 et agiter énergiquement - prélever 5 ml de la solution et ajouter 1ou 2 gouttes du réactif 4 -titrer avec le réactif 5 jusqu'à décoloration

La quantité d'O_2 dissous se lit directement sur la seringue de titration en mg/L

- ***Dosage du calcium Ca^{2+}***

On prélève 100 ml de l'échantillon dans un bécher de 250 ml auquel on ajoute 5 gouttes de tachiro (indicateur coloré). Après agitation le mélange vire au vert, puis on ajoute deux gouttes d'acide chloridrique 1/3, le mélange vire au violet. Au contenu du bécher on ajoute 5 gouttes de soude 400 : virage au vert et une cuillérée d'indicateur murexide : virage au rouge au vin. On titre avec la liqueur complexiométrique (EDTA), contenu dans une burette à zéro automatique.

- ***Dosage du magnésium Mg^{2+}***

Ajouter 5 ml de l'acide chloridrique 1/3 sur le mélange précédemment obtenu et attendre 5 minutes puis ajouter 5 ml d'Ammoniac concentré : virage au vert. Ajouter l'indicateur net (Eriochrome black T): virage au bleu violacé et on titre jusqu'au virage avec la liqueur complexiométrique : virage au bleu nuit.

- ***Dosage des nitrates (mg/L)***

On prélève 10 ml de l'échantillon dans un bécher auquel on ajoute 1 ml de Salicylate de Sodium puis on laisse sécher au stérilisateur 115°C. On ajoute au résidu sec 2 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) puis 15 ml d'eau distillée au mélange tout en agitant. Ajouter 15 ml de sel de seignette (Acétate de sodium avec la soude). Ajouter de l'eau distillée jusqu'à 100 ml. Faire la lecture au spectrophotomètre à 425 nanomètres en mettant dans une cuvette de 1 cm par rapport à l'eau distillée traitée de la même manière.

- ***Dosage des nitrites (mg/L)***

On prélève 50 ml de l'échantillon auquel on ajoute 2 ml de réactif de Zambelli. On attend 10 minutes avant d'ajouter 2 ml d'ammoniac concentré. On procède à la lecture au spectrophotomètre à 425 nanomètres par rapport à l'eau distillée traitée de la même manière.

- ***Dosage des ions sulfate SO_4^{2-}(mg/L)***

Prélever 50 ml de l'échantillon et ajouter 1 ml de l'acide chloridrique 1/3 (HCl) et 5 ml de chlorure de baryum. Apres agitation du mélange attendre 15 min la formation de précipité puis lire au spectrophotomètre à 650 nanomètres par rapport à l'eau distillée traitée de la même manière.

- ***Dosage du manganèse total (mg/L)***

On peut déterminer le manganèse dans les eaux par photométrie après oxydation des échelons inférieurs de valence en manganèse (VII)

A 10 ml de l'échantillon on ajoute 4 gouttes du réactif n°1, 8 gouttes du réactif n°2 puis on attend 2 à 3 minutes avant d'ajouter 4 gouttes du réactif n°3 et 4 gouttes du réactif n°4. Enfin la lecture au spectrophotomètre à 436 nanomètres par rapport à l'eau distillée traitée de la même manière.

- ***Dosage de l'ammonium (mg/L)***

On prélève 50 ml de l'échantillon auquel on ajoute 1 ml de sel de seignette pour l'ammonium et 2 ml de réactif Nessler. Apres 5 minutes, lecture au spectrophotomètre à 425 nanomètres par rapport à l'eau distillée traitée de la même manière.

- ***Dosage des Chlorures (Cl^-)***

Ce dosage consiste à prélever 100 ml de l'échantillon dans un Erlenmeyer préalablement lavé puis rincé à l'eau distillée et numéroté. On introduit un barreau aimanté dans l'Erlenmeyer, qu'on pose sur l'agitateur, tout en y ajoutant 3 à 5 gouttes de chromate de potassium le mélange vire au jaune. Enfin, on titre le mélange avec la solution du nitrate d'argent ($AgNO_3^-$) à une concentration de N/25 jusqu'à la zone de virage et on obtient coloration rouge brique.

- ***Titre Alcalinité Complet (TAC)***

Dans un erlenmeyer de 205 ml, on prélève avec une pipette graduée 100 ml de l'échantillon d'eau dans lequel, un barreau aimanté a été mis. L'ensemble est ensuite posé sur un agitateur. A ce mélange posé sur l'agitateur on ajoute 5 goutes de l'indicateur mixte (qui vire la solution de l'incolore au bleu). La solution est par la suite titrée par l'acide chlorhydrique N/25 jusqu'à avoir la couleur de la peau d'oignon, après avoir ajouté un volume V(HCl). Le TAC s'exprime en milliéquivalent gramme par litre (méq.l^{-1}) ou en degré français (1°F correspond à 0.2 (méq.l^{-1}).

- **Titre Alcalinité simple TA**

A 100mL de l'échantillon, on ajoute 5 gouttes de phénolphtaléine puis on titre avec la liqueur alcalimétrique N/25.

- ***Dosage des matières organiques (oxydabilité)***

On prélève 100 ml de l'échantillon et on ajoute 5 gouttes de soude 400 g/L, avant de porter le tout à ébullition. Après ébullition, on ajoute 15 ml de solution de permanganate de potassium 0,01N puis on maintient au feu doux pendant 10 minutes. On ajoute 5mL d'acide sulfurique ½ et 15 ml d'acide oxalique 0,01N : le mélange devient incolore ; et on fait la titration avec la solution de $KMnO_4$ 0,01 jusqu'au virage.

- ***Dosage de la silice SiO_2***

Prélever 10 ml d'eau dans un bécher ; Ajouter quelques gouttes de soude 400 et 5 à 10 gouttes de phénolphtaléine : virage au violet. Après 5 à 10 minutes ajouter une cuillerée de molybdate d'ammonium, attendre environ 10minute le virage au jaune du mélange puis lire avec un comparateur et une plaquette de comparaison portant les valeurs de concentration en silice.

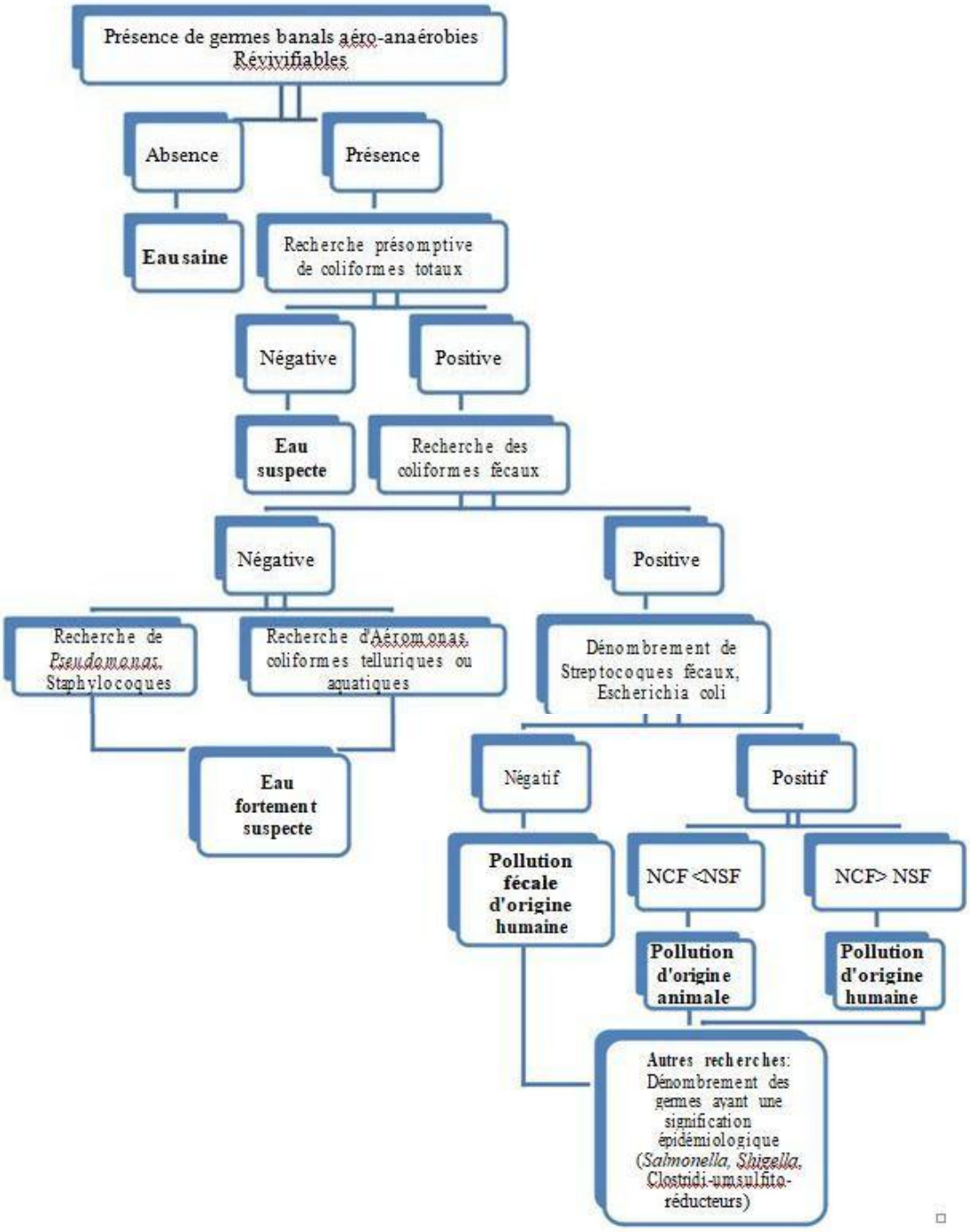
- ***Dosage du phosphate P_2O_5***

Prélever 20 ml de l'échantillon et ajouter 30 goutes de vanadomolybdate. Après quelques minutes lire, procéder à la comparaison des couleurs avec comme matériels le comparateur et la plaquette de comparaison pour la teneur en phosphate en mg/L.

- ***Dosage du chlore libre***

Le chlore libre réagit avec la solution d'Ortho toluidine et prend une coloration jaune. Comme matériels nous avons le comparateur et la plaquette de comparaison pour la teneur en chlore en mg/L.

Annexe 5 : Algorithme des analyses bactériologiques



Source : ZOGO, 2010

Annexe 6 : fiche de renseignement

SOCIETE NATIONALE DES EAUX DU BENIN

DIRECTION DES EXPLOITATIONS TECHNIQUES

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Direction régionale :

Agence :

Division ou quartier :

Nom et N° de la rue :

Maison en face :

Sites remarquables proches du site d'intervention :

Diamètre de la conduite :

Travaux effectués :

Durée des travaux :

Vidange :

Désinfection :

Nom du responsable des travaux :

Risques potentiels :

Annexe 7: fiche des analyses physico-chimiques et bactériologiques

SOCIETE NATIONALE DES EAUX DU BENIN
DIRECTION DES EXPLOITATIONS TECHNIQUES
DIRECTION REGIONALE DE PARAKOU
Secteur Production
Laboratoire Régional
TEL : (229) 23 61 06

FICHE D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Nom et prénoms du chimiste :

Date du prélèvement :

Date du début des analyses :

Paramètres					**Référence des prélèvements**				
Désignation	*Formule*	*Unité*	*NG*	*CMA*					
Lieu de prélèvement									
Nature de l'échantillon									
Date et Heure de prélèvement			-	-					
Couleur	-	UCV	1,5 – 4,7	50					
Turbidité	-	NTU	0,4	1,5					
Goût	-	Nombre dedilution	0	Inoffensif					
Odeur	-	Nombre de dilution	0	Inoffensif					
Température	-	°C	25°C	-					
Potentiel Hydrogène	pH	-	6,5<pH<9,5						
pH d'équilibre	pH	-	-	-					
Conductivité électrique	-	µS/cm	400	2000					
Alcalinité complète	TAC	°F	4	-					

Alcalinité simple	TA	°F	-	-					
Chlorure	Cl^-		mg /L	25	250				
Sulfate	SO_4^{2-}		mg /L	-	-				
Silice	SiO_2		mg /L	25	240				
Calcium	Ca^{2+}		mg /L	-	400				
Magnésium	Mg^{2+}		mg /L	30	50				
Carbonates	CO_3^{2-}		mg /L						
Bicarbonates	HCO_3^-		mg /L						
Dureté totale	TH		°F	4	35				
Extrait sec	-		mg /L	-	1500				
Matières en suspension	MES		mg /L	Néant	Néant				
Oxygène dissous	O2		mg /L	-	-				
Gaz carbo. libre	CO2		mg /L	-	-				
Gaz carbo. agres.	CO2		mg /L	-	-				
Equilibre $CaCO_3$	-		-	En équilibre					
Nitrates	NO_3		mg /L	25	50				
Nitrites	NO_2		mg /L	0,05	0,1				
Ammonium	NH_4^+		mg /L	0,05	0,5				
Oxydabilité	O_2		mg O_2/L	2	5				
Hydro. Sulfu	H_2S		mg /L	Nd	Nd				
Fer total	Fe^{2+}/Fe^{3+}		mg /L	0,05	0,2				
Fer dissous	Fe2+		mg /L	0,05	0,2				
Manganèse	Mn^{2+}/Mn^{4+}		mg /L	0,02	0,05				

total								
Manganèse dissous	Mn^{2+}	mg /L	0,02	0,05				
Phosphate	P_2O_5	mg /L	0,4	5				
Chlore libre	$HOCl/Ocl^-$	mg /L	0,4	1,2				

Nd : non détectable ; nt: non titré ; CMA: Concentration Maximale Admissible ; NG: Niveau Guide ;

Observations:

Le Chimiste

SOCIETE NATIONALE DES EAUX DU BENIN
DIRECTION DES EXPLOITATIONS TECHNIQUES
DIRECTION REGIONALE DE PARAKOU
Secteur Production
Laboratoire Régional
TEL : (229) 23 61 06 98

FICHE D'ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

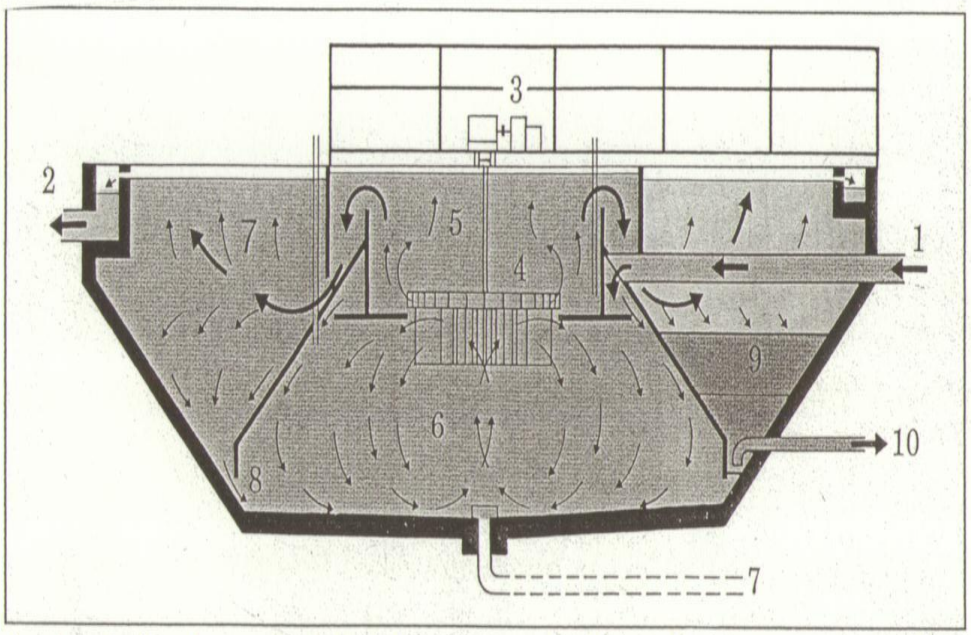
Nom et prénoms du chimiste :

Date du prélèvement :

Date du début des analyses :

Paramètres	**Unités**	**Normes**	**Référence des prélèvements**			
Lieu de prélèvement	-	-				
Nature de l'échantillon	-	-				
pH	-	6,5<pH<9, 5				
Heure de prélèvement	-	-				
Chlore résiduel libre	mg/L	0,1 minimum				
Turbidité	NTU	1,5				
Conductivité électrique	µS/cm	400-2000				
Température	°C	25 °C				
Dénombrement des germes totaux en 24h à 37 °C	UFC/ml	20				
Dénombrement des germes totaux en 48h à 37 °C	UFC/ml	20				
Recherche présomptive des coliformes	Négative ou Positive	Négative				
Dénombrement des Echérichia coli	UFC/100mL	0				
Dénombrement des Streptocoques fécaux	UFC/100mL	0				
Conclusion	-	Eau saine				

Annexe 8: Décanteur ACCELATOR



1 – Arrivée d'eau brute. 2 – Départ d'eau traitée. 3 – Groupe d'entraînement. 4 – Turbine. 5 – Zone de mélange primaire. 6 – Zone de mélange secondaire. 7 – Eau clarifiée. 8 – Recirculation des boues. 9 – Concentrateur de boues. 10 – Boues en excès.

Figure 339. Décanteur ACCELATOR.

Annexe 9: Photos des appareils utilisés au laboratoire

Mini floculateur

Incubateur

Spectrophotomètre

Turbidimètre

Stérilisateur

Autoclave

Bec de bunsen+ boite de pétri

Annexe 10: Photos du matériel utilisé pour les travaux de bathymétrie

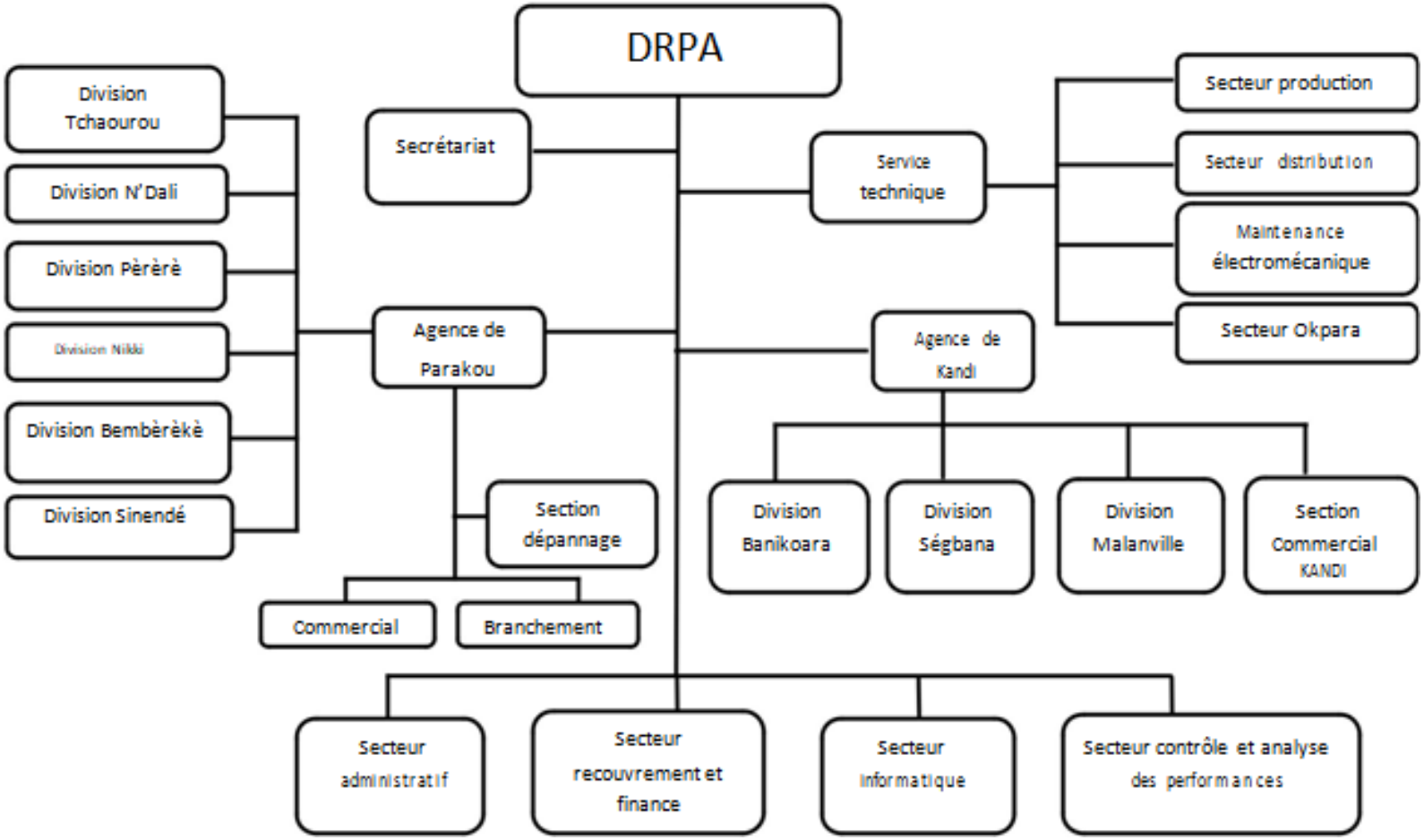
Barque motorisée

GPS bi fréquence

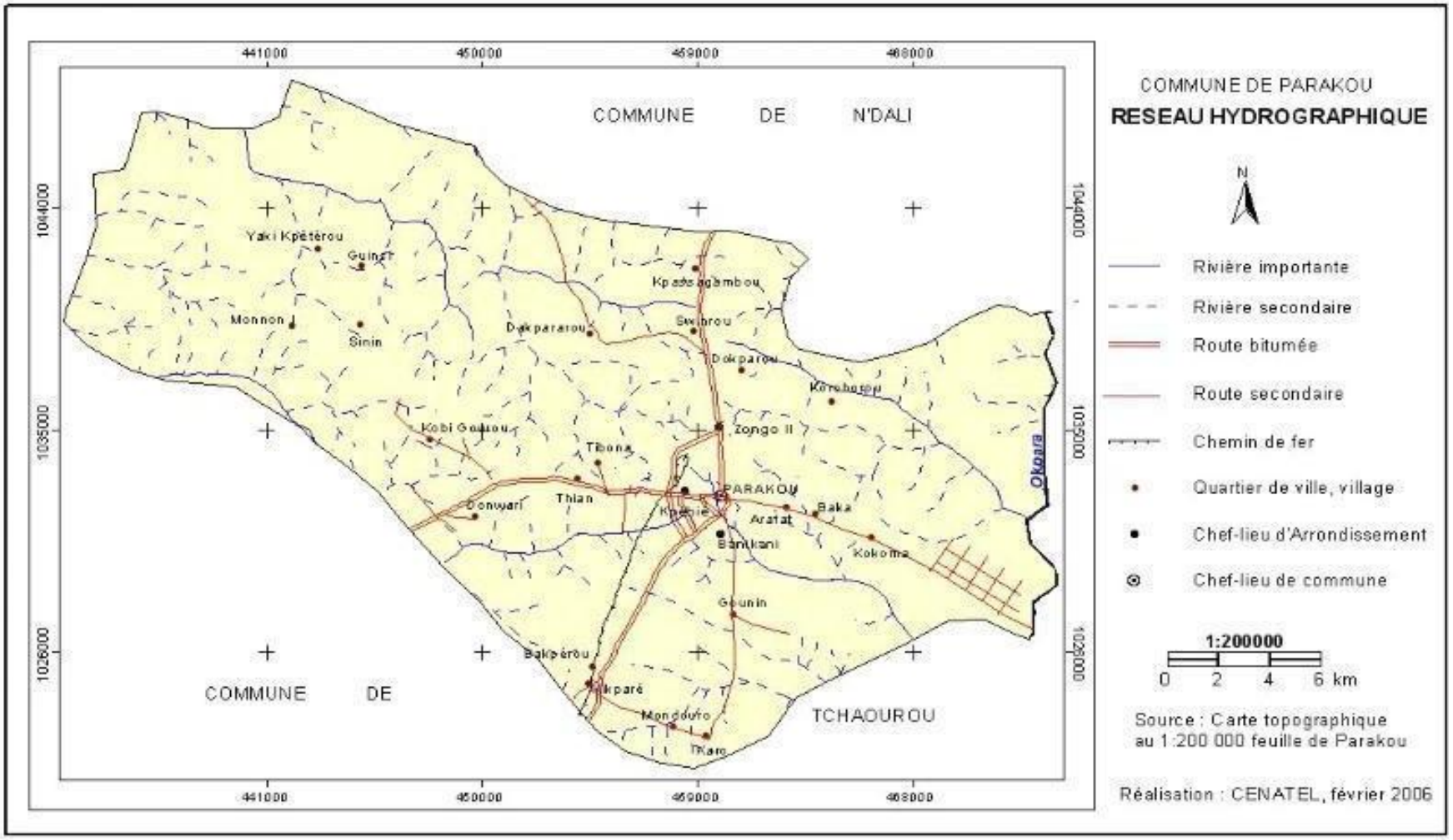
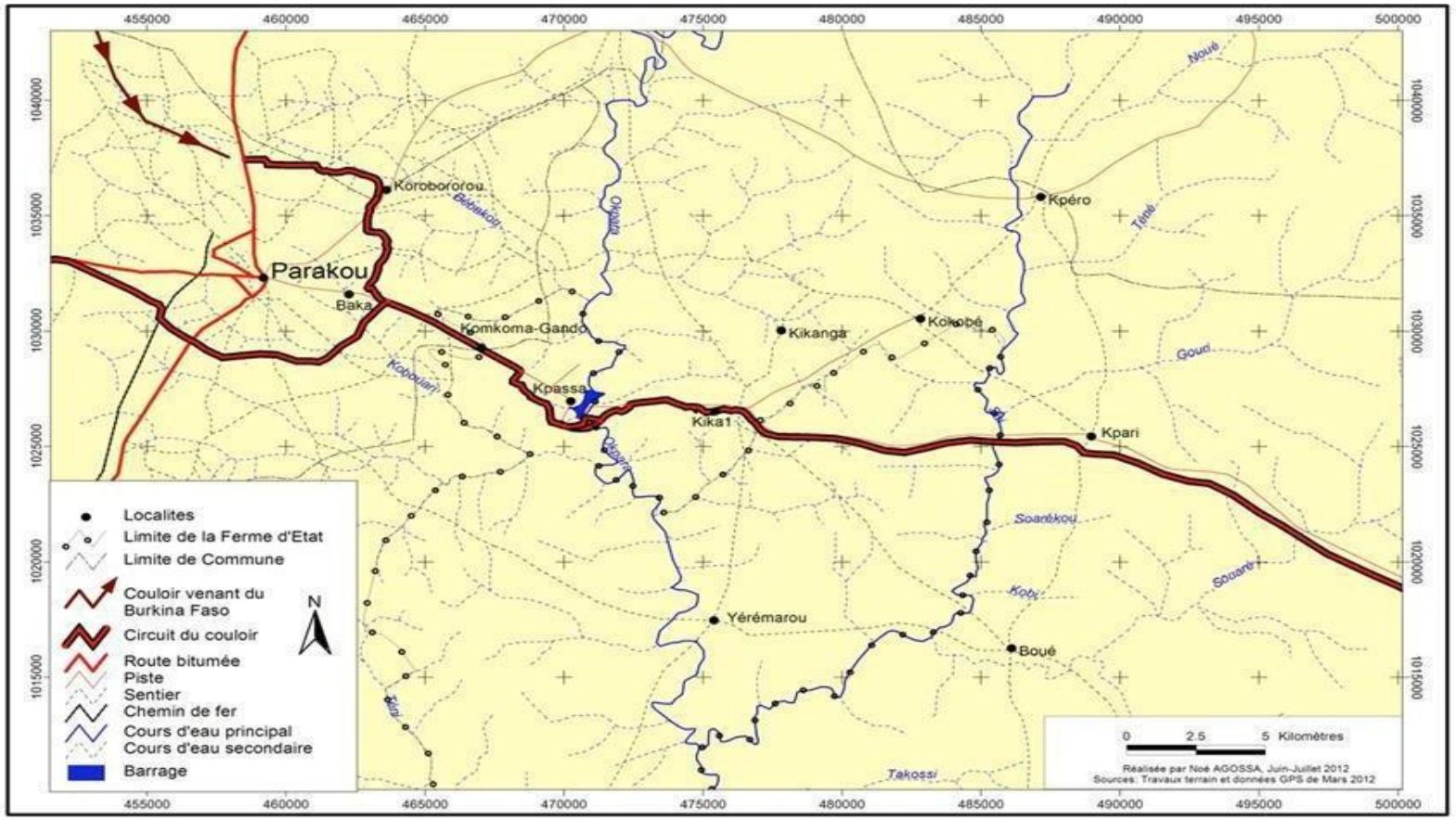
Echo sondeur

GPS 60

ANNEXE 11 : Organisation de la DRPA



ANNEXE 12 : Carte du réseau hydrographique de la commune de Parakou



ANNEXE 13 : Carte du Projet ORIO