



Qualité bactériologique de l'eau du bassin de l'Ouémé: cas des coliformes totaux et fécaux dans les retenues d'eau de l'Okpara, de Djougou et de Savalou au Bénin

Mathieu B. HOUNSOU^{*}, Euloge K. AGBOSSOU, Bernard AHAMIDE et Irenikatche AKPONIKPE

Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi (LHME/FSA/UAC) BP 526, Cotonou, Benin.

^{*}Auteur correspondant, E-mail : hounsmat@yahoo.fr

RESUME

La contamination bactérienne des eaux de surface est un problème de pollution qui remonte très loin dans le temps. De nos jours, la qualité des eaux est altérée, notamment par la contamination par de micro-organismes d'origine fécale, l'utilisation excessive de produits agrochimiques, les rejets incontrôlés des industries et les déchets solides et liquides provenant des ménages. Au nombre des sources contaminées, les rivières et les plans d'eau sont les plus infectés parce que plus exposés. Les retenues d'eau au Bénin ne sont pas exemptes des risques de pollution chimique et biologique causés le plus souvent par les différentes bactéries pathogènes dont les groupes des coliformes totaux (CT) et des coliformes fécaux (CF). En vue de la détermination, à la fois qualitative et quantitative des coliformes dans trois retenues situées sur le bassin versant de l'Ouémé, quatre séries de prélèvement d'échantillons d'eau ont été effectuées et analysées au laboratoire par la technique de la membrane filtrante (MF) de 2005 à 2008. Les résultats de ces analyses bactériologiques des eaux ont montré que la totalité des échantillons prélevés était polluée par la présence de coliformes car les taux de ceux-ci dépassent largement les normes recommandées par le Bénin et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en matière d'eau potable. Le maximum et le minimum observés sur les retenues varient respectivement entre 562 CT/100 ml (retenue de la Doninga sur la Téro) et de 10 CF/100 ml (retenue de l'Okpara) avec de légères augmentations d'une année à une autre. Les analyses statistiques présentent de fortes corrélations entre les CT des trois retenues alors que les coefficients de détermination ont indiqué de faibles valeurs entre les teneurs de ces coliformes et les débits des cours d'eau alimentant ces retenues.

© 2010 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Pollution, contamination, bactérie, micro-organismes, pathogènes.

INTRODUCTION

Les ressources d'eau douce de la planète sont confrontées à des menaces croissantes (GWP, 2009). L'accès à l'eau potable est au cœur de la plupart des problèmes de santé publique que connaissent les pays en développement. Or, les pressions

importantes qui s'exercent sur les réserves d'eau dans diverses régions du monde contribuent à une détérioration préoccupante de leur qualité (Wikipédia/Géopolitique de l'eau, 2009). L'Organisation Mondiale de la Santé estime que près de 500 millions d'individus sont chaque année confrontés à

© 2010 International Formulae Group. All rights reserved.

des maladies infectieuses d'origine hydrique, et que 20 millions de ces individus en meurent, ce qui fait que la qualité microbiologique de l'eau reste la première préoccupation de santé publique à l'échelle mondiale (Gantzer et al., 1998 ; ONU, 2007; Constantin et al., 2007). Parmi les facteurs responsables de ces infections, les bactéries tiennent une place non négligeable à travers la consommation d'eau polluée. Louis Pasteur avait coutume de dire que « nous buvons 90% de nos maladies ».

En outre, la contamination bactérienne en milieu hydrique est un phénomène naturel où l'homme joue le rôle de contaminateur primaire, mais aussi de récepteur secondaire des bactéries présentes dans le milieu (Gantzer et al., 1998). Actuellement, la qualité des eaux est altérée, notamment par l'utilisation excessive de produits agrochimiques, les rejets incontrôlés des industries, les déchets solides et liquides provenant des ménages (Abu-jawdeh et al., 2000 ; Saab et al., 2007). Or, la préservation de la qualité de l'eau ainsi que son utilisation équitable sont nécessaires au développement durable et à sa contribution au maintien de la santé (Makoutodé et al., 1999).

Malheureusement, en Afrique au sud du Sahara, plus du tiers de la population souffre de maladies conséquentes de la pénurie ou de la mauvaise qualité de cette matière première essentielle pour la vie humaine (Mérino, 2008). Ainsi, les infections microbiologiques qui sont les plus courantes de ces maladies liées à l'eau, sont causées par trois principaux types de micro-organismes se retrouvant dans l'eau : les bactéries, les virus et les protozoaires (Zogo, 1980 et Santé Canada, 2003). Pour faire régresser ces maladies infectieuses et parasitaires véhiculées par l'eau, la Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DIEPA, 1981-1990) avait promu une politique pour élever le niveau de santé et de production des populations par de l'eau potable disponible (Comité Directeur Inter-institutionnels de Coopération pour la Décennie, 1990 ; OMS, 1994 ; Comlanvi,

1994). Face à la dégradation de la qualité des eaux, le premier critère de qualité de l'eau potable est l'absence de contamination bactérienne d'origine fécale (WHO, 1993 ; MSP, 2001 ; Miquel, 2003).

Avec ses 13 milliards de m³ d'eau superficielle et près de 2 milliards de m³ de capacités annuelles de recharges de sa nappe, le Bénin est suffisamment doté de ressources en eau pouvant lui permettre de satisfaire les besoins de la population (MMEH, 1999). Malheureusement, ces ressources sont aussi exposées aux risques de pollution bactériologique, chimique et biologique, surtout dans les zones de très fortes concentrations humaines ou productrices de coton (MMEH, 1999).

Selon Capo-Chichi (2009), nombreuses sont les populations qui utilisent de nos jours encore l'eau des puits ou celle des cours d'eau, non traitée, comme eau de boisson, même dans les villes où l'eau est pompée et traitée. Or, elles contiennent le plus souvent de potentiels contaminants dont les microorganismes pathogènes comme les bactéries (Goss, 1998). En effet, certaines bactéries, comme les coliformes fécaux représentés par *Escherichia coli* (*E. coli*), peuvent être dommageables pour les humains et pour certains autres animaux.

Ainsi, la pollution de ces sources d'eau n'épargne pas les retenues d'eau installées dans le bassin de l'Ouémé et qui alimentent les usines d'eau de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) qui y tire l'eau brute qu'elle traite pour les populations des régions de Parakou, Djougou et Savalou. Comme l'ont signalé plusieurs auteurs, (Bonou et Gnonlonfin, 1999; Soclo, 2002 et Yehouenou Pazou, 2006), ces retenues comme la plupart des eaux superficielles du Bénin renferment de nombreux polluants. Les populations qui manipulent ces eaux sans traitement pour divers besoins sont exposées à toutes sortes de maladies hydriques qui font l'objet de plus de 40% des consultations médicales depuis des années dans les centres de santé des localités environnantes (MSP, 2007).

Parmi les différentes bactéries pathogènes présentes dans les eaux au Bénin, les groupes des coliformes totaux et des coliformes fécaux sont les plus courants et les plus facilement décelables par les analyses (Makoutodé et al., 1999). Leur dynamique a été suivie dans les retenues d'eau installées sur la Térrou, l'Okpara et l'Agbado, à travers les localités voisines où moins de 10% des populations sont abonnés aux réseaux d'adduction d'eau potable (INSAE/RGPH3, 2002 et SONEB, 2004).

La présente étude vise à déterminer la qualité bactériologique de l'eau brute de ces retenues, toutes situées dans le bassin de l'Ouémé, en vue de renseigner d'une part les populations riveraines qui l'utilisent, et d'autre part les usines de production d'eau potable en place sur l'évolution du nombre des bactéries avant les traitements sans oublier les sources de ces contaminations.

MATERIEL ET METHODES

Localisation des retenues d'eau

Les trois retenues concernées par l'étude sont situées dans le bassin de l'Ouémé, entre 6°51' et 10°11' latitude nord et 1°29' et 3°24' de longitude est, et bénéficient d'une hydrographie très dense qui alimente leurs sous-bassins versants (Figure 1). Ces retenues d'eau fournissent à la SONEB la quantité d'eau nécessaire pour alimenter les villes de Djougou (retenue Doninga sur la rivière Térrou), de Parakou (retenue de la rivière Okpara) et de Savalou (retenue sur la rivière Agbado, affluent du Zou).

Ces retenues fonctionnent à partir des barrages de la SONEB et leur choix permettra ainsi d'apprécier la qualité de l'eau brute sans traitement utilisée à la fois par l'usine d'eau et les communautés vivant dans ces localités. En effet, les populations riveraines utilisent ces eaux à plusieurs fins domestiques sans aucune précaution de traitement et seraient exposées ainsi à diverses infections surtout en période sèche où toutes les autres sources d'approvisionnement en eau sont très limitées. Le principal usage de ces eaux est la

consommation humaine après traitements par les différentes usines de la SONEB sur place.

Le Tableau 1 présente les caractéristiques de ces retenues qui sont alimentées par les rivières aux débits irréguliers variant entre moins d'un mètre cube en étiage à plus de 150 m³/s pendant la crue (SBEE, 1990 ; Le Barbé et al., 1993). En période de hautes eaux (juin à octobre), la lame d'eau est maximale dans les réservoirs (plus de 8 m) alors qu'elle descend à moins de 5 m en saison sèche (Zogo, 2007).

Evaluation de la qualité bactériologique de l'eau

Il s'agira surtout d'évaluer le degré d'insalubrité par le nombre de germes coliformes présents dans les échantillons. Ce contrôle repose sur la recherche d'indicateurs de contamination fécale par les analyses d'échantillons d'eau au laboratoire, avec un suivi basé sur la répétition dans le temps.

Prélèvement des échantillons d'eau

Au niveau de chaque retenue, le prélèvement est effectué avec soins à proximité de l'ouvrage de régulation du volume d'eau (seuil ou déversoir). L'échantillon est prélevé à une profondeur moyenne de 50 cm de la surface et versée dans des bouteilles en verre de 500 ml stérilisées préalablement préparées. Au point de prélèvement, la bouteille est mise dans une cage d'échantillonneur qui permet de garder le bocal fermé jusqu'à la profondeur définie, avant que le dispositif ne fasse déboucher le bocal qui s'emplit aussitôt d'eau avant d'être remonté. Les bocaux ont été remplis à fleur pour éviter l'emprisonnement de l'air atmosphérique et les échantillons sont conservés dans des glacières pour être envoyés au laboratoire de la qualité de l'eau de la Direction Générale de l'Eau du Bénin.

Fréquence des prélèvements

Pour suivre la variabilité temporelle des paramètres étudiés, quatre prélèvements d'eau ont été effectués en grande saison sèche donc une fois par an de 2005 à 2008 par retenue.

Ainsi, le choix de la saison sèche s'explique par le fait que pendant cette période, la plupart des eaux de surface sont asséchées et toutes les activités se concentrent vers quelques points d'eau où les risques de contamination sont alors les plus grands avec les besoins des animaux domestiques, des hommes et du gros bétail en transhumance. Pendant cette période, de grands volumes d'eau sont stockés dans le barrage et les vannes au niveau des différents déversoirs sont presque fermées pour limiter les pertes et maintenir la hauteur d'eau nécessaire en place. Ce qui coïncide avec de fortes concentrations de germes dans l'eau (Baijot et al., 1991).

Analyses des échantillons d'eau

L'identification, à la fois qualitative et quantitative, des coliformes fécaux et totaux, passe par filtration d'un volume de 100 ml de l'eau à analyser sur une membrane cellulosique filtrante (MF) ayant des pores de diamètre uniforme égal à 0,45 micron-mètre. Etant donné la très grande charge de l'eau (intensité de la couleur), les échantillons ont subi une dilution au 10^e par de l'eau stérilisée et ramenés après à 100%. Le liquide a été fixé d'abord par la gélose lactosée au TTC (Triphényl-tétrazolium de chlorure) et au Tergitol 7 avant d'être filtré (AFNOR, 2001). La membrane cellulosique gélosée portant le spécimen est ensuite placée pendant 24 à 48 h en incubation de 37 °C pour déceler les coliformes totaux (CT) et de 44,4 °C pour les coliformes fécaux (CF) (Groupe scientifique sur l'eau, 2003). La Technique de Membrane Filtrante (TMF) utilisée dans ce milieu sélectif, est simple, plus rapide et plus sûre (Zogo, 1980 ; Rodier, 1994).

Après incubation, la fermentation regroupe les micro-organismes en colonies colorées en jaune sur la membrane. Dans ces conditions, les coliformes sont identifiés et dénombrés par comptage en microscopie (Hobbie et al., 1977 ; Munro et Bianchi, 1984 et Adjamossi, 1994). Lorsque les colonies sont en amas dense sur la membrane, on procède au dénombrement d'une portion qui sera extrapolée par une multiplication

proportionnellement à la surface de la membrane et par une règle de trois, ainsi le dénombrement total est calculé pour les 100 ml d'échantillon.

Traitements et analyse des données

Les caractéristiques bactériologiques des différentes retenues sont évaluées et les résultats d'analyse sont comparés respectivement aux normes de l'OMS et du Bénin. Selon ces réglementations, l'eau potable ne doit comporter aucun de ces deux types de bactérie dans 100 ml d'eau. Les normes visent à garantir aux consommateurs une eau qui ne constitue pas un risque pour la santé. Alors, pour appréhender l'évolution des variations des CT et CF, il a été évalué les rapports de proportionnalité entre les nombres moyens des deux types de germes. Enfin, les coefficients de corrélation sont calculés pour apprécier la significativité des résultats d'analyses d'échantillons et les différentes variations en bactéries des trois retenues.

RESULTATS

Les résultats présentent les teneurs en CF et CT au niveau des trois retenues d'eau et sont illustrées dans les Figures 2 et 3.

Evolution du nombre des coliformes totaux (CT) dans les trois retenues d'eau

La Figure 2, qui présente les variations de la teneur en coliformes totaux au niveau des trois retenues, montre une tendance d'évolution du nombre des CT dans les trois retenues. Ce constat permet de faire deux types d'observations. En premier lieu, il se dégage dans les trois retenues d'eau, une augmentation du nombre de germes de 2005 à 2008 avec un bond en 2008, ce qui indique une évolution de la pollution dans le temps. En effet, la figure indique une croissance sensible des CT dans les retenues de Savalou sur l'Agbado et de Djougou (sur la Téro) avec les pics respectifs de 532 et de 562 CT/100 ml en 2008.

Par ailleurs, les CT sont malheureusement capables de se développer sur de la matière organique en décomposition,

ce qui fait que ce groupe n'est pas toujours un indicateur sûr de la contamination fécale des eaux de surface (Environnement Canada, 2002).

Face à ces différentes observations, l'évolution des CF (Figure 3) a été nécessaire, surtout que ces deux types de germes ont un rapport d'existence dans le milieu aquatique.

Evolution du nombre des coliformes fécaux dans les trois retenues d'eau

L'évolution des CF durant la période de mesure est présentée par la Figure 3. A travers cette figure, il se dégage une forte augmentation des CF à Djougou de 2005 à 2008, par contre, les retenues de Parakou et de Savalou ont des tendances différentes mais connaissent également une augmentation importante en coliformes en 2008.

En général, avec leurs fortes populations (plus de 100000 habitants) (INSAE/RGPH3, 2002), les trois communes produisent des déchets domestiques (eaux usées, ordures ménagères) très importants qui sont souvent à la base des pollutions des ressources en eau. La très forte proximité des sites de prélèvement d'une agglomération influence beaucoup la qualité de l'eau à travers les déjections animales et humaines qui sont entraînées par le ruissellement vers les réceptacles d'eau (Adjibadé, 2004). Ainsi les fortes teneurs en CT et CF au niveau des retenues de Djougou et de Savalou peuvent être expliquées par la proximité d'une importante source contaminante. Ceci donnera une idée sur les impacts de l'activité humaine sur la ressource eau car les coliformes surtout fécaux proviennent des excréments des animaux à sang chaud et des hommes, donc sont plus spécifiques aux matières fécales que les coliformes totaux (APHA-AWWA-WEF, 1998). Ces deux retenues sont situées proches d'agglomérations de plus en plus importantes c'est-à-dire des villes en pleine croissance démographique et économique (INSAE/RGPH3, 2002) qu'elles alimentent (moins de 2 Km), ce qui met ces eaux sous l'influence directe des déchets venant des activités des populations. Ainsi, elles

subissent directement et en un court trajet le déversement des tonnes de déchets entraînées vers les cuvettes de l'ouvrage par ruissellements en période des pluies et emmagasinés par le barrage. Par contre, la retenue de l'Okpara qui alimente la ville de Parakou située à une dizaine de kilomètres, est aux abords du village Kpassa dont les activités de pollution sont moins importantes. Toutefois, cette retenue est située en aval de la ferme d'état du Projet de Développement de l'Elevage (PDE) d'où proviennent d'énormes quantités de débris d'animaux pouvant expliquer son niveau de contamination. La prépondérance des bactéries fécales dans les pâtures s'explique facilement par la présence de déjections de vaches et leur lessivage par les pluies le long des bassins versants (Servais et al., 2003).

Pour faire une comparaison de la pollution des trois retenues, les moyennes et les coefficients de détermination ont été calculés pour les CT et les CF (Figure 4).

Comparaison des taux moyens de coliformes totaux et fécaux entre retenues d'eau

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas de différence significative des taux de CT ($p = 0,69$) et CF ($p = 0,10$) entre retenue en moyenne entre les quatre années (Figure 4).

La comparaison des taux de coliformes totaux et fécaux au niveau des trois retenues d'eau est présentée sur la Figure 4. Il ressort de cette figure que, c'est la retenue d'eau de l'Okpara qui présente la plus forte valeur en CT par contre pour les CF, c'est plutôt celle de Téro, suivie encore de l'Okpara. Ainsi les teneurs de la retenue sur la Téro caractérisées par la plus forte moyenne en CF peuvent s'expliquer par le fait de la proximité de ce réservoir et de sa position dépressionnaire au sud de la ville de Djougou d'où se déversent tous les déchets domestiques produits dans un bassin versant large de 32 km² (SONEB, 2003). En outre, les eaux aux abords de la retenue servent aux différents usagers surtout les gros camions transporteurs de bétails

(caprins et ovins) qui y viennent laver l'intérieur de leur véhicule.

Par ailleurs, la retenue de l'Okpara est située dans une région où il y a des champs de coton, des aires de pâturage et d'élevage des bovins (IGN, 1969). Cette retenue est caractérisée par une pollution fécale permanente et élevée du fait de la présence du bétail, d'animaux domestiques et de grands troupeaux de transhumants venant du Nigéria voisin qui ont libre accès au cours d'eau pour leur abreuvement surtout en saison sèche. Ainsi, les concentrations élevées de germes obtenues dans les retenues de l'Okpara et de Djougou indiquent que les différents sous-bassins qui alimentent ces retenues d'eau apportent assez de débris venant aussi des zones d'élevage de bovins.

Par contre, les plus faibles teneurs de CT et de CF de la retenue d'Agbado pourraient s'expliquer par le dispositif en double barrages de cette retenue, ce qui atténue déjà certainement les teneurs en germes au niveau de la première retenue avant l'arrivée au niveau de la station de pompage (2^{ème} retenue), point de l'échantillonnage. En effet, les déchets venant de la ville de Savalou sont épurés où décantés d'une part par la végétation galerie qui jouent le rôle de filtre le long du tronçon de 2 à 3 km qui le sépare de l'agglomération et d'autre part par le laminage des flots par la première retenue.

Par ailleurs, la Figure 4 montre que les moyennes des coliformes totaux sont toujours plus élevées que celles des coliformes fécaux au niveau de toutes les stations, ce qui est conforme aux travaux de Jones et Shortt (2005). En effet, le groupe des CF ou thermotolérants est un sous-groupe des CT capables de se multiplier à 44,5 °C et représentés en grande partie par *Escherichia coli*, (Environnement Canada, 2002). L'importance des germes d'*Escherichia coli* dans les coliformes fécaux fait que le poids de ces derniers peut atteindre les 90% du nombre total de bactéries selon Rosillon (2005). Les rapports entre les coliformes (fécaux et totaux) (CF/CT) montrent que les retenues de l'Okpara et celle d'Agbado présentent une

similitude avec des valeurs autour de 0,30. Par contre pour la Téro, la teneur des CF dépasse la moitié des CT. Lorsqu'on sait que les CF sont les indicateurs directs d'une pollution fécale de l'eau donc exprimant les contaminations exclusivement fécales et récentes sans autre élément, il en résulte que la retenue sur la Téro (Djougou) présente les eaux les plus contaminées en coliformes humains ou animaux. Ceci montre réellement le déversement des eaux usées et excréments humains et animaux à sang chaud directement vers la cuvette de la retenue bordée à l'est par les nouvelles habitations de la ville de Djougou situées à moins de 200 mètres des berges.

Compte tenu de ces différentes variations, il est indiqué de voir les liens avec les volumes ou débits des cours d'eau lors des prélèvements. Au plan hydrologique, les débits des différents cours d'eau ou affluents sur lesquels sont installées ces stations ont été pris en compte dans les investigations pour une comparaison avec les nombres de bactéries.

Relations entre les débits et les teneurs en bactérie

La mesure du débit des cours d'eau alimentant ces retenues trouve prioritairement son utilité dans l'évaluation et la prévention des risques de maladies liés aux inondations des retenues mais aussi dans la connaissance des volumes disponibles à des fins de production d'eau potable aux populations.

En augmentant le débit de la rivière, les pluies peuvent intervenir comme agents de dilution de la contamination bactérienne (Saab et al., 2007). Mais, la période de crue est aussi à l'origine d'un phénomène de lessivage des sols car pendant les premiers instants des pluies, les eaux de ruissellement mobilisent les dépôts sur les sols et les charrient vers les cours ou plans d'eau. Or, la présente étude a été effectuée en saison sèche (Mars) ce qui correspond à des débits faibles voire nuls, comme le cas de l'Okpara où les débits sont tous nuls pour les quatre dates de prélèvements et n'apparaît pas dans les

variables de corrélations (Tableau 2). En considérant l'ensemble des valeurs de coliformes obtenues sur les trois retenues et les débits mesurés à des stations de jaugeage sur les différents cours d'eau, aucune corrélation n'est positive entre débit et teneurs en bactéries ($R < 0$). Par contre, le Tableau 1 présente plusieurs corrélations significatives ($R > 0,65$) entre les abondances de coliformes totaux et celles de coliformes fécaux entre Térrou et Okpara d'une part et Okpara et Agbado de l'autre.

La significativité des variables bactériologiques des deux types de germes montre que le suivi de l'un d'entre eux

suffirait pour la surveillance de l'autre, ce qui se justifie grâce aux rapports existants entre les coliformes fécaux et les coliformes totaux développés par Borrego et Romero (1982). Par ailleurs, les concentrations des divers polluants rejetés artificiellement et régulièrement dans un cours d'eau diminuent lorsque le débit augmente (Baijot et al., 1991). Donc, cette caractéristique hydrologique permet de comprendre les variations de la qualité des eaux. L'approche statistique multi variée a montré que l'effet de localisation masque l'effet date sur le même site et pendant la même période.

Tableau 1 : Caractéristiques des retenues d'eau.

Localités abritant les retenues	Cours d'eau	Ouvrage principal	Capacités (m^3)	Populations des communes alimentées
Djougou	Doninga affluent de Térrou/Ouémé	Digue en terre de 200 m et un déversoir central aspirant l'eau	V = 220 000	181 000 habitants
Parakou	Okpara (affluent de l'Ouémé)	Digue en terre avec un seuil central et un déversoir latéral	V = 5,75 millions	149 885 habitants
Savalou	Agbado (affluent du Zou)	Une retenue de stockage d'eau avec digue en béton de 150 mètres de long et déversoir latéral à vanne mobile séparée de la station de pompage	V = 200000	104 000 habitants

Source : INSAE/RGPH3, 2002 ; SONEB, 2006 et Zogo, 2007

Tableau 2 : Corrélations entre les différentes variables de coliformes.

Variables	Térrou CT	Okpara CT	Agbado CT	Térrou CF	Okpara CF	Agbado CF	Agbado Débit	Térrou Débit
Térrou CT	1,00	0,33	0,89	0,91	0,78	0,70	-0,11	-0,04
Okpara CT	0,33	1,00	0,70	0,65	0,82	0,86	-0,79	-0,28
Agbado CT	0,89	0,70	1,00	0,94	0,92	0,87	-0,53	-0,00
Térrou CF	0,91	0,65	0,94	1,00	0,97	0,94	-0,30	-0,31
Okpara CF	0,78	0,82	0,92	0,97	1,00	0,99	-0,45	-0,38
Agbado CF	0,70	0,86	0,87	0,94	0,99	1,00	-0,47	-0,45
Agbado Débit	-0,11	-0,79	-0,53	-0,30	-0,45	-0,47	1,00	-0,33
Térrou Débit	-0,04	-0,28	-0,00	-0,31	-0,38	-0,45	-0,33	1,00

CT = Coliformes Totaux ; CF = Coliformes Fécaux.

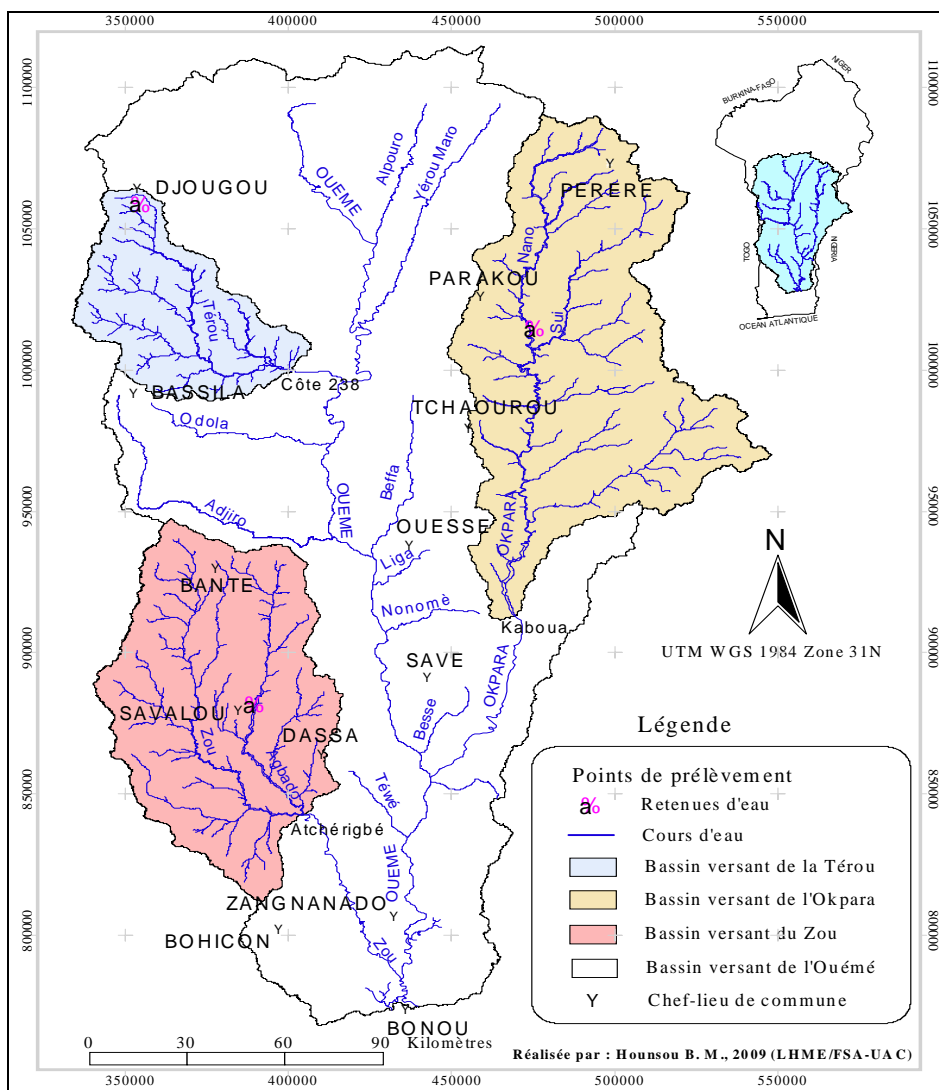


Figure 1 : Situation des retenues d'eau dans le bassin de l'Ouémé au Bénin.

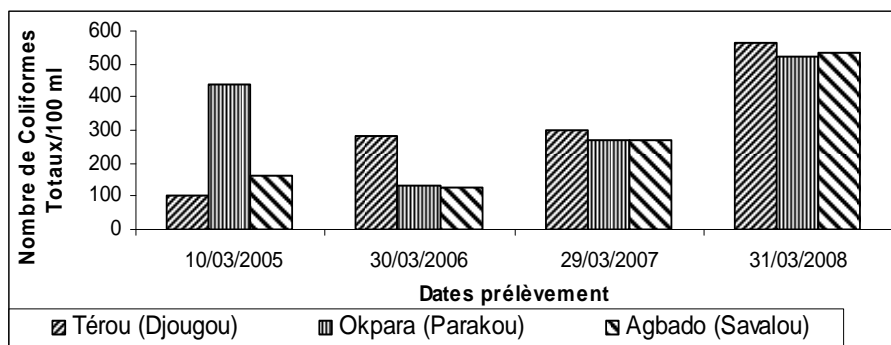


Figure 2 : présente les variations des teneurs en CT au niveau des retenues.

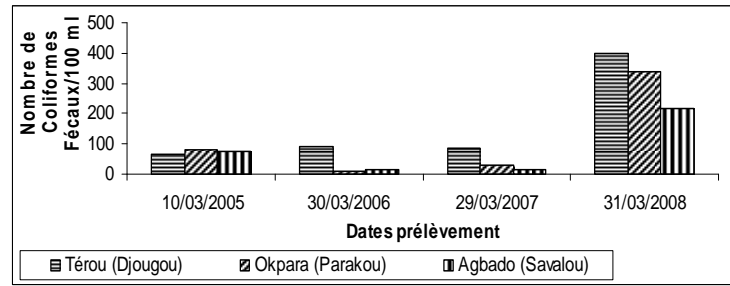


Figure 3 : Evolution du nombre des coliformes fécaux au niveau des trois retenues.

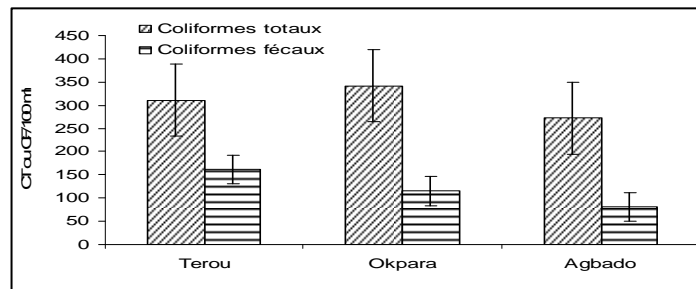


Figure 4 : Comparaison des taux de coliformes totaux et fécaux au niveau des trois retenues d'eau.

DISCUSSION

Les résultats de l'analyse bactériologique des eaux montrent que la totalité des échantillons prélevés était polluée par la présence de coliformes. Ils montrent que presque toutes les retenues sont souillées par les CF et CT. En effet, la présence d'un de ces micro-organismes pathogènes dans un volume de 100 ml d'eau d'échantillon, indique que ces eaux ne cadrent pas avec les seuils recommandés et sont hors des normes de l'OMS (OMS, 1994) et du Bénin (MSP, 2001).

Au plan qualitatif, la pollution bactériologique des trois retenues est due à une contamination fécale de par leur position de réceptacle dans le réseau. En effet, les bactéries d'origine fécale sont souvent apportées aux milieux aquatiques par des rejets d'eaux usées venant des terres et eaux environnantes (Servais et al., 2003). L'eau étant majoritairement souillée par les

déjections humaines et animales, par les pesticides et engrais chimiques utilisés dans l'agriculture.

Par contre, sur le plan quantitatif, l'eau devrait avoir moins de microbes pathogènes pour ne pas présenter trop de risque pour la santé des consommateurs (Ajibadé, 2004). Or, les nombres moyens des CT et CF enregistrés au bout des 4 séries de campagnes sont respectivement de 341 et de 81. Ces chiffres sont similaires aux résultats de Makoutodé et al. (1999) dans les eaux au sud Bénin où les CT et CF représentent 65% des germes présents dans les échantillons, ce qui a amené à qualifier ces eaux de polluées.

De même, ces résultats d'analyse se rapprochent de ceux de Mokofio et al. (1991), Aïssi (1992), Comlanvi (1994), Desjardins (1997), puis Servais et al. (2003) qui ont observé des moyennes dépassant les 105 germes par 100 ml dans des eaux pourtant

moins exposées que les eaux des retenues en étude.

Si les activités de production animale intensive sont normalement responsables de surplus de fumier dans les bassins versants (Gouvernement du Québec, 2004), au niveau de l'Okpara, les résultats laissent croire que l'impact des débris de fumier venant de la ferme d'élevage est probablement faible. Cependant, il faut reconnaître que les échantillons sont prélevés uniquement en saison sèche au moment où le ruissellement et le lessivage direct des fumiers sont quasiment nuls dans le cours d'eau Okpara, ce qui fait que ces résultats ne peuvent donc pas être généralisés à une période où les conditions hydro-climatiques seraient différentes. La présence en grand nombre de ces germes signalée dans les eaux des retenues devrait être inquiétante, mais en réalité, elle présente moins de crainte par rapport aux eaux de concentrations de 100 CF et de 1000 CT par 100 ml qui sont pourtant acceptées pour la production d'eau potable (Ajibadé, 2004) ou pour la baignade et l'irrigation dans d'autres régions (Tosti et Volterra, 1981 ; Environnement Canada, 2002).

Les contaminations sont le plus souvent causées par des risques permanents de pollution exogène (eaux de ruissellement des pluies, rejets d'eaux usées, infiltration des latrines, etc.). Dans ses travaux, Desjardins (1997) a affirmé que la contamination bactériologique élevée est surtout causée par des déversements de rejets domestiques et agricoles. La pollution est d'autant plus importante que la retenue est plus proche d'une grande agglomération, source d'intenses activités autour du point d'eau ou d'une grande exploitation agricole. Ainsi, les trois retenues ont leurs teneurs de CF et de CT élevées et subissent l'influence des activités de ces agglomérations proches dont les systèmes d'assainissement font cruellement défaut. C'est pourquoi le rôle de la SONEB est de neutraliser tous les germes au niveau de ses usines de production d'eau potable en obtenant zéro coliforme par 100 ml d'eau dans les échantillons, puis dans l'eau mise à la

disposition des populations (SBEE/DT-Eau, 2003).

Si les coliformes fécaux constituent un bon test de contamination des eaux par les matières fécales, cette bactérie apparaît toujours en grandes quantités dans les déjections animales et humaines et ne se trouve qu'exceptionnellement dans les sols et les eaux qui n'ont pas été l'objet d'une pollution fécale (Edberg et al., 2000 ; Santé Canada, 2001). Toutefois, la détection d'une pollution d'origine fécale n'est pas synonyme de présence de bactérie forcément pathogène, mais plutôt d'un risque épidémiologique potentiel. Cependant, pour le bien être de l'homme, tous les germes sont systématiquement éliminés lors des traitements par les usines d'eau de la SONEB (SBEE/DT-Eau, 2003).

Par ailleurs, les valeurs des CT et des CF sont en principe plus élevées car les mesures ont été faites ici en période de très basses eaux (étiage) où certains cours d'eau sont sans écoulement avec des débits faibles (débit nul à Okpara) et où les concentrations de certaines substances présentes dans l'eau sont beaucoup plus élevées que pendant le reste de l'année (Baijot et al., 1991). Car en période de crue, les substances se trouvent diluées à cause du plus grand volume d'eau qui coule dans la rivière et leur dispersion est forte à travers les courants (Ganoullis, 1992 et MDDEP, 2002). C'est ce qui justifie la faible corrélation entre les CT, les CF et les débits dans la mesure où l'écoulement qui devrait servir de vecteur n'existe pratiquement pas en cette période sèche. L'absence de mouvement d'eau réduit la mobilité des germes pouvant induire une relation entre leur existence à travers le réseau hydrographique. En effet, l'influence des périodes de pluies sur la qualité des eaux des cours d'eau n'est pas des moindres ; elle trouve surtout son importance dans les transports de charges vers les rivières (CEMAGREF, 2004).

En outre, parmi les facteurs qui expliquent la pollution bactériologique des eaux des retenues de Térrou, d'Agbado, et de l'Okpara, il y a un certain nombre de

comportements peu recommandés de la communauté : défécation à l'air libre, déversement des rejets domestiques et agricoles sans traitement.

Par ailleurs, le type de couverture végétale en place (pâtures, forêts et cultures) a un impact sur la qualité microbiologique des rivières et plans d'eau. En effet, les cours d'eau traversant des pâtures contiennent beaucoup plus de coliformes que les ruisseaux de zones forestières, cultivées ou mixtes (Servais et al., 2003). Par conséquent, la contamination des retenues dépend de l'occupation et de la nature des sols, des pratiques de gestion des déchets, des aménagements, des équipements et des régimes hydrologiques (CEMAGREF, 2004) ; et c'est en cela surtout que les résultats d'analyse doivent éveiller la conscience de la population et des structures s'occupant de la production d'eau potable à prendre leur responsabilité en ce qui concerne la protection de l'environnement en général et de la ressource en eau en particulier.

Conclusion et recommandations

Au terme de cette étude, les grandes tendances montrent que les eaux au niveau des trois retenues dans le bassin de l'Ouémé sont toutes contaminées en CF et CT et par conséquent, tout le fleuve Ouémé est exposé à ces germes. Ce qui fait que ces taux de pollution sont de même tendance que ce soit dans la retenue de Djougou, de Parakou ou de Savalou.

Par ailleurs, les deux paramètres microbiologiques (CF et CT) mesurés impliquent la présence d'une gamme très large d'autres germes pathogènes, ce qui classe ces eaux brutes parmi les eaux impropres à la consommation humaine. Ainsi, les principaux résultats de l'étude devraient être plus rassurants à cause d'une part, du fait qu'ils présentent une situation de pollution bactériologique des eaux et d'autre part, devraient renseigner les populations riveraines du danger en consommant ces eaux sans un traitement efficace, et serviront de base de

données pour toute étude sur la qualité des eaux de ces retenues.

Par rapport à cette situation, il est important de prendre des dispositions pour mieux protéger ces points d'eau contre une contamination bactériologique de plus en plus forte aujourd'hui. Dans ce cadre, il faut des actions à court terme qui consistent à la protection des retenues et de leurs environs immédiats par l'installation et l'instauration de périmètres de protection pour les retenues concernées, par une bande de sécurité où l'agriculture et l'élevage seraient proscrits, ainsi que toute autre activité domestique. Davantage, il faut penser à des actions à moyen et à long terme qui prendraient en compte l'amélioration des pratiques en matière de gestion des déchets domestiques, urbains et industriels, dans les localités situées dans leurs sous-bassins versants.

REMERCIEMENTS

Ce travail est appuyé par les Projets RIVERTWIN et NPT 145 qui ont successivement facilité les analyses de laboratoire. Qu'ils reçoivent nos sincères remerciements. Notre reconnaissance s'adresse également à tous les enseignants-chercheurs du Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin, qui nous ont soutenus lors des traitements des données.

BIBLIOGRAPHIE

- Abu-Jawdeh G, Laria S, Bourahla A. 2000. LIBAN: *Enjeux et Politiques d'Environnement et de Développement Durable*. Éditions du Programme des Nations Unies pour l'Environnement/Plan Bleu/Centre d'Activités Régionales : Beyrouth ; 54.
- Adjamossi P. 1994. Qualité de l'eau des puits et problèmes de santé à Cotonou. Mémoire de Maîtrise, DGAT/FLASH/UNB, p. 107.
- AFNOR. 2001. Eaux méthodes d'essai. In *Recueil de Normes Françaises* (6ème

- édn). Association Française de Normalisation ; 360.
- Aïssi MJ. 1992. Impacts des déchets domestiques sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. Mémoire : Aménagement, Protection de l'environnement : Abomey-Calavi, p. 69.
- Ajibadé LT. 2004. Assessment of water quality along River Asa, Ilorin, Nigeria. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, *The Environmentalist*, **24**: 11-18.
- APHA-AWWA-WEF 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20th edn). American Public Health Association, 1015 : 15th Street NW, Washington D.C. ; 20005-20605.
- Baijot E, Moreau J, Bouda S. 1991. Aspects hydrobiologiques et piscicoles des retenues d'eau en zone soudano-sahélienne. Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale, CTA, pp. 1-53.
- Bonou C, Gnonlonfin L. 1999. Analyse de la dégradation des ressources des zones humides et de ses causes. Programme d'Aménagement des Zones Humides (PAZH). Agence Béninoise pour l'Environnement, Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme, (Rép. du Bénin) Rapport définitif, p. 105.
- Borrego AF, Romero P. 1982. Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and streptococci. 6è journée étud. Pollutions, Cannes, France, pp. 561-569.
- Capo-Chichi B. 2009. Les Béninois ne sont pas tous égaux face au droit à l'eau, Lettre du Bénin – 13, <http://www.aqueduc.info/spip.php?article 924>.
- CEMAGREF 2004. <http://www.cemagref.fr/informations/Ex-rechr/systemes-aqua/suivre-debit/suivredeb-exemple.htm>.
- Comité Directeur Inter-institutionnels de Coopération pour la Décennie. 1990. *Impact de la DIEPA de l'Eau et de l'Assainissement sur les Maladies Diarrhéiques*. OMS : Genève ; 178.
- Comlanvi FM. 1994. Amélioration de la qualité des eaux des puits dans la ville de Cotonou : cas de quelques quartiers. Mémoire, Aménagement, Protection de l'environnement. Ab-Calavi, CPU, 78 p.
- Constantin M, Leroux R, Amable M-C, Mesnardrobbe A, Rimbault C. 2007. L'eau en capitale. Paris Info, p. 4.
- Desjardins R. 1997. *Le Traitement des Eaux*. 2è édition revue de l'Ecole Polytechnique de Montréal ; 304.
- Edberg SC, Rice EW, Karlin RJ, Allen MJ 2000. *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, **88**: 106S-116S.
- Environnement Canada. 2002. Recommandations pour la qualité de l'eau en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/Francais/ceqg/water/default.cfm
- Ganoulis J. 1992. Dispersion et disparition des bactéries coliformes dans la baie de Thessaloniki. *Revue des Sciences de l'Eau*, **5** : 541-554.
- Gantzer C, Lucena F, Schwartzbrod L, Jofre J. 1998. Indicateurs de contamination virale du milieu hydrique: mythe ou réalité? *Revue Virologie*, **2**(2): 117-125.
- Goss MJ, Barry DAJ, Rudolph DL. 1998. Contamination in Ontario farmstead domestic wells and its association with agriculture: 1. Results from drinking water wells. Department of Earth Sciences, University of Waterloo, Canada. *Journal of Contaminant Hydrology*, **32**(3-4) : 267-293.
- Gouvernement du Québec 2004. Etude sur la qualité de l'eau potable dans sept bassins en surplus de fumier et impacts potentiels sur la santé. INSPQ, 165 pages, www.inspq.gc.ca
- Groupe Scientifique sur l'Eau. 2003. Coliformes fécaux, synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Institut

- national de santé publique du Québec, p. 3.
- GWP. 2009. Managing the other side of the water cycle: Making wastewater an asset. Tec Background papers, n°13, 62 pages.
- Hobbie JE, Daley R.J, Jasper S. 1977. Use of Nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.*, **33** : 1225-1228.
- IGN. 1969. Carte d'occupation, Feuille de Parakou. République du Dahomey, Afrique de l'ouest. Feuille NC-31-IX au 200000è.
- INSAE/RGPH3. 2002. Résultats définitifs du Recensement général de la Population et de l'Habitat (Février 2002), Décembre 2003, 234 pages.
- Jones S, Shortt R. 2005. Amélioration de la Salubrité des Aliments à la Ferme par de Bonnes Pratiques d'Irrigation-MAAARO, Fiche technique 35 pages.
- Le Barbé L, Alé G, Millet B, Texier H, Borel Y, Guralde R. 1993. *Les Ressources en Eaux Superficielles de la République du Bénin*. ORSTOM : Paris ; 540 p.
- Makoutodé M, Assani AK, Ouendo E-M, Agueh VD, Diallo P. 1999. Qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo. *Médecine d'Afrique Noire* , **46** (11) : 7.
- MDDEP. 2002. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/ministere/inter.htm>
- Mérino M. 2008. L'eau : quels enjeux pour l'Afrique subsaharienne ? CREPAO, Note n°20 de la Fondation pour la Recherche Stratégique (FRS), Université de Pau et des Pays de l'Adour, 13 p.
- Miquel G. 2003. Eau : qualité et assainissement, Rapport sur la qualité de l'eau et de l'assainissement en France n°705. <http://www.assemblee-nationale.fr/12/dossiers/030705.asp>
- MMEH. 1999. Vision nationale de l'Eau en l'AN 2025, Rapport de synthèse, 37 p.
- Mokofio F, Renaudet J, Opandy C, Bastard G, Abeye J, Yete ML, Touabe J, Gondao L, Vohito JA. 1991. qualité bacteriologique de l'eau des puits, des sources et des forages dans la ville de Bangui. Premiers résultats et perspectives. *Médecine d'Afrique noire*, **38** (11).
- MSP. 2001. Décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin, 11 p.
- MSP. 2007. Rapports épidémiologiques sur la santé au Bénin. Système National d'Information et de Gestion Sanitaire, SNIGS/DPP/MSP (1998, 2004, 2005, 2006 et 2007).
- Munro P, Bianchi M. 1984. Comparaison de méthodes directes (microscopiques) et indirectes (par mise en culture) dans l'évaluation d'une pollution bactérienne d'origine fécale. Etude préliminaire. Microbiologie Marine Université de Provence, 2^{ème} Colloque International de Bactériologie marine, Actes de Colloques 3, pp. 515-520.
- OMS. 1994. *Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson : Recommandations* (2e éd.). Vol. 1. Organisation Mondiale de la Santé ; 202 p.
- OMS. 2000. *Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson : Critères d'Hygiène et Documentation à l'Appui* (2e éd.). Vol. 2. Organisation mondiale de la Santé ; 1050 p. Accessible à : www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Summary_tables/
- ONU. 2007. L'eau une responsabilité partagée, 2^{ème} Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau (www.unesco.org/water/wwap/index_fr.shtml)
- Saab HB, Nassif N, Samrani GEIA, Daoud R, Medawar S, Ouaini N. 2007. Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière nahr ibrahim, liban).
- Santé Canada. 2001. Résumé des recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, p. 7. www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/soommairepdf

- Santé Canada. 2003. www.sc-hc.gc.ca ou [http://www hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/index-fra.php](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/index-fra.php)
- SBEE. 1990. Rapport du Plan d'investissement Actualisé des AEP. République du Bénin, p. 85.
- SBEE/DT-Eau 2003. Société Béninoise d'Electricité et d'Eau. Rapports d'analyses, 7. p.
- Servais P, Garcia AT, Lizin P, Mercier P, Anzil A. 2003. Analyses des risques chimiques et microbiens, Sources et dynamique des coliformes fécaux dans l'estuaire de la Seine. Ecologie des Systèmes Aquatiques, Seine Aval, Rapport Programme, 28 p.
- Soclo HH. 2002. Suivi de la qualité des plans d'eau des zones humides du Sud-Bénin. PAZH, Rapport intérimaire, p. 25.
- SONEB. 2003. Plan Directeur Eau : Système d'AEP, Tome V.3.6, 25 p.
- Tosti E, Volterra L. 1981. Water quality along the neapolitan coast.
- WHO. 1993. Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd ed., vol. 1. Recommendations. Chemical aspects. World Health Organisation of the United Nations, Geneva. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol2p2a.pdf.
- Wikipédia/Géopolitique de l'eau 2009. Le problème des pollutions. http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9opolitique_de_l%27eau#Le_probl.C3.A8me_des_pollutions
- Yehouenou Pazou AE. 2005. Les résidus de pesticides chimiques de synthèse dans les eaux, les sédiments et les espèces aquatiques du bassin versant du fleuve Ouémé et du lac Nokoué. Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, p. 217.
- Zogo, D. 1980. Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et traitements des eaux de consommation en République Populaire du Bénin. Mém. de fin d'étude, Collège Polytechnique Uni. Abomey-Calavi, p. 80.
- Zogo, D. 2007. Distribution des résidus d 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. Journée d'étude du CEBEDEAU. *Tribune de l'Eau*, **641**(1) : 12.