

Pollution des eaux souterraines par les métaux lourds et leur impact sur l'environnement : cas de l'aquifère superficiel du champ de captage intensif de Godomey au sud Bénin

¹DOVONOU, F., ²ADJAHOSSOU, N., ¹ALAMOU, E., ³ALASSANE, A., ¹MAMA, D., ¹BOUKARI, M.

¹*Laboratoire d'Hydrologie Appliquée à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi (LHA / FAST / UAC) 01 BP 4521 Cotonou (Bénin)*

²*Laboratoire Pierre PAGNEY, Eaux, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) 01 BP : 526 Cotonou Bénin*

³*Département des Sciences de la Terre, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.*

Correspondance : dovflav@yahoo.fr

(First received 3 December, 2013; modified version accepted 13 May, 2014)

Résumé - Les périmètres de protection sont indispensables pour préserver la qualité des eaux souterraines. L'occupation anarchique de ces périmètres par les populations constitue une menace pour la qualité des eaux souterraines car les activités pratiquées sont sources de pollution potentielle. Ainsi, les nombreuses décharges sauvages d'ordures, les activités de production d'eaux usées, le rejet des déchets solides dans les puits sont des sources de pollution de l'aquifère superficiel du champ de captage par des métaux lourds. L'analyse chimique de cinquante échantillons d'eau de puits individuels et de forage a donné les résultats suivants : pour l'eau des puits individuels, la concentration en fer total atteint 0,5 mg/L et 40 % des échantillons ont des teneurs en fer total qui dépassent 0,3 mg/L. La teneur en manganèse est parfois de 0,3 mg/L et 80 % des eaux de puits ont des teneurs dépassant 0,1mg/L. Le taux de mercure est compris entre 0,1 µg/L et 0,6 µg/L. Le cadmium, le plomb et le zinc ont été déterminés dans 20 % des échantillons à des concentrations variant pour l'ensemble, entre 0,002 mg/L et 0,18 mg/L. Quant aux eaux des forages, étant bien protégées, elles ne sont pas sujettes à la pollution par les métaux lourds.

Mots clés : pollution, aquifère superficielle, périmètres de protection, métaux lourds, population, Godomey

Groundwater pollution by heavy metals and their impact on the environment: case of the shallow aquifer of Godomey's intensive well field catchment (South Bénin)

Abstract – Protection perimeters are essential to preserve the quality of groundwater. The anarchic occupancy of those perimeters by the populations constitutes a threat to the groundwater quality, since they devote themselves without any restrictions to activities which are source of pollution. Thus, many discharges of household garbage, production of sewages, and discharge of households garbage in wells are sources of pollution of the shallow aquifer by heavy metals. The chemical analyses of fifty individual wells and boreholes samples have given the following results: for individual wells, the concentration of total iron is comprised between 0.05 mg/L and 0.5 mg/L and 40 % of those samples have a iron total concentration above 0.3 mg/L. the manganese content is from 0.01 to 0.3 mg/L and 80 % of the wells water samples have a concentration beyond 0.1mg/L. Mercury level ranges from 0.1 µg/L to 0.6 µg/L. The cadmium, the lead and the tin was determined in 20 % of the samples at concentrations between 0.002 mg/L and 0.006 mg/L; 0.02 mg/L and 0.18 mg/L ; 0.002 mg/L and 0.04 mg/L respectively. Boreholes, since protected, are not polluted by heavy metals.

Key words: pollution, shallow aquifer, protection perimeters, heavy metals, population, Godomey.

INTRODUCTION

A l'échelle mondiale, les eaux usées sont la principale source de pollution des ressources en eau souterraine (Beauchamp, 2003). Les déversements d'eaux usées provenant des pays en développement sont en augmentation du fait de l'urbanisation rapide, de l'accroissement de la population et du manque de mesures d'aménagement et de financement de système d'évacuation des eaux usées et d'usines de traitement de l'eau (PNUE (GEO), 2002). De ce fait, la qualité des ressources en eau douce se dégrade à cause des pollutions industrielles et domestiques (AITEC Environnement, 1994). Il est bien connu que les eaux d'égouts non traitées sont un danger pour la santé publique et peuvent être à l'origine de maladies épidémiques transmises par l'eau telles que la fièvre typhoïde (Štirn, 1973 ; Shuval, 1986, *in* Calamari, 1994). Mais force est de constater que, la problématique de la gestion des eaux usées n'est pas suffisamment maîtrisée par les Etats et surtout les services municipaux des communes.

Par ailleurs, les métaux lourds dans les sols existent dans plusieurs fractions de la phase solide, qui peuvent être mesurées par dissolution séquentielle sélective (Tessier, 1979). Les activités humaines telles que les effluents industriels et municipaux ont alors augmenté le flux de métaux lourds dans les eaux souterraines et de surface (Gove, 2001). Aujourd'hui, la mauvaise gestion des sites industriels a pour conséquences des problèmes de santé publique et d'aménagement du territoire (Lemière, 2001). Les nombreuses unités d'industries artisanales, notamment les ateliers de teinturerie implantés sur les périmètres de protection du champ de captage de Godomey sont des points potentiels de pollution.

La Commune d'Abomey-Calavi, qui abrite le champ de captage d'eau potable qui alimente la ville de Cotonou et ses environs, se trouve confronter à une forte croissance démographique qui s'accélère depuis les années 1990. Cet accroissement rapide de la population, conjugué à une implantation anarchique des ateliers de teinturerie, des garages, des sites de lavage des engins, des décharges sauvages d'ordures et des puits transformés en dépotoirs sauvages d'ordures, ont affecté la qualité de l'aquifère superficiel du Sud du plateau d'Allada, suscitant ainsi des interrogations sur les conséquences futures de sa pollution et sur la santé de la population. Ainsi, l'absence de contrôle ou de

sanction a aggravé la prolifération des déchets polluants. Les eaux usées domestiques et industrielles, très chargées en métaux lourds sont rejetées sans traitement dans des puisards en direction de l'aquifère superficiel. L'objectif de ce travail est de déterminer les concentrations des métaux lourds dans l'aquifère superficiel qui constitue la source d'alimentation en eau pour les populations qui vivent sur le champ de captage de Godomey.

MILIEU D'ETUDE

Le plateau d'Allada et sa plaine côtière sont localisés au Sud du bassin sédimentaire côtier du Bénin. Ses limites s'inscrivent entre les méridiens 2° et 2°30' et les parallèles 6°20' et 7°20'. Le champ de captage de Godomey, encore appelé champ de captage d'Agonkamey, est situé au Sud-Est de ce plateau. Il est limité au Nord par l'agglomération d'Abomey-Calavi, au Sud par la lagune Djonou, à l'Est par le lac Nokoué et à l'Ouest par la rivière Bakamè. Il est situé à 20 Km au Nord-Ouest de Cotonou et couvre une superficie de 5,5 Km². Le champ de captage de Godomey est le périmètre de pompage intensif le plus important dans le Continental Terminal et à l'échelle de tout le pays (GIGG, 1993). Il est destiné en effet à l'alimentation en eau potable de la grande agglomération de Cotonou, la plus importante ville du Bénin de par sa population et son tissu industriel. La figure 1 matérialise les localisations géographiques de la majorité de ses forages. On constate sur la carte qu'ils sont dans leur majorité, en pleine agglomération dans les quartiers comme Godomey-Togoudo, Womey, Allègleta, Zone IITA, Zogbadjè, Tankpè et Tokan. Sur le plan géomorphologique, le Bassin Sédimentaire Côtier est subdivisé en sept plateaux (Figure 2 A). Le plateau d'Allada concerné par la présente étude est limité au Nord par la dépression de la Lama, à l'Ouest par la vallée du Couffo et le lac Ahémé, au Sud par l'océan Atlantique et à l'Est par la vallée du delta de l'Ouémé et le lac Nokoué. Le plateau s'élève progressivement à une altitude variant de 40 m au Sud à 140 m au Nord. La plaine basse d'altitude maximale de 2 m, constitue une zone occupée par des dépressions marécageuses, des lagunes et des cordons sableux. Notre zone d'étude, zone de captage de Godomey est située au Sud-Est du plateau et ses principaux traits caractéristiques sont : un plateau de terre de barre qui se localise au Nord des dépressions

lagunaires et des cordons littoraux au Sud. Sur le plateau de terre de barre, le périmètre du champ de captage de Godomey, qui abrite les forages de la SONEB est limité au Sud par la lagune Djonou, à l'Est par le lac Nokoué et à l'Ouest par la rivière Bakamè.

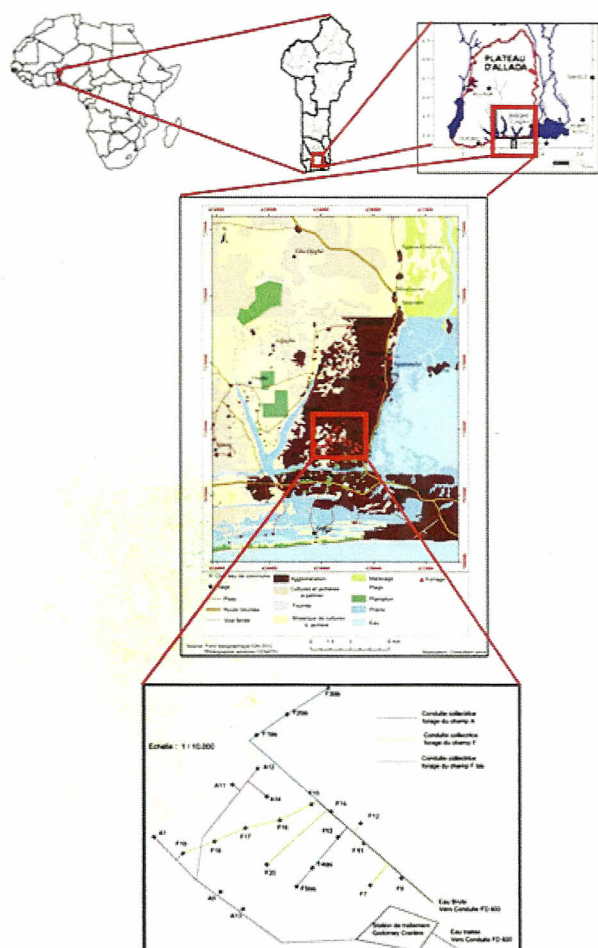


Figure 1. Localisation du champ de captage de Godomey.

Figure 1. Localisation of the Godomey well field

L'ensemble du plateau d'Allada constitue superficiellement une entité géologique d'âge Miocène-Pliocène - Pléistocène ou Continental Terminal (Figures 2 B et C). Il est limité au Nord par un affleurement d'âge Eocène, latéralement par de puissants remplissages alluviaux- sablo-vaseux d'âge Quaternaire. Au Sud, il est limité par les sables également quaternaires du cordon littoral. Selon Slansky (1968), Dray (1988), les formations superficielles du plateau d'Allada ont été constituées par le dépôt, postérieur à l'époque

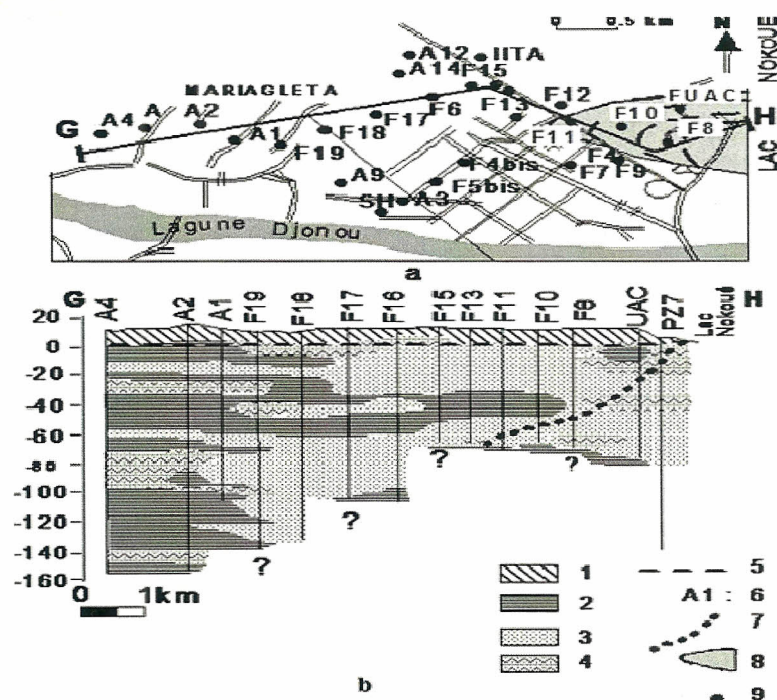
éocène, des matériaux de démolition des reliefs du Nord, attaqués par l'érosion. Sous 10 à 20 mètres de terre de barre, couche argilo-sableuse oxydée, elles se composent d'une alternance de sables de granulométrie variées, de graviers et galets et d'horizons argileux. La tranche supérieure serait plus grossière, ou comporterait moins d'intercalations argileuses que la partie profonde. Les dépôts étant continentaux, la plupart des couches sont en principe lenticulaires, sans continuité. Les plateaux appartiennent au Bassin Sédimentaire Côtier du Sud-Bénin reposant sur le socle cristallin et formant une entité monoclinale plongeant vers le Sud. Les investigations menées sur le plateau d'Allada par SGI (1981), IGIP-GKW-GRAS, (1983, 1989) et Géohydraulique (1985) dans le cadre de prospections pour l'hydraulique urbaine et villageoise, Pallas (1988), Turpak International-SCET-Tunisie (1991), Maliki (1993), Boukari *et al.* (1995 et 1996), SOGREAH/SCET Tunisie (1997), Boukari (1998 et 2002), et Alassane (2004) dans le cadre des thèses ou rapports, ont permis de distinguer plusieurs horizons aquifères plus ou moins bien individualisés, composés, sur les deux cents premiers mètres reconnus, d'un horizon superficiel et de trois horizons inférieurs séparés les uns des autres par des couches d'argiles discontinues (Figure 3). Il y a donc interconnexions hydrauliques entre tous ces horizons. C'est dire que toute pollution de l'un des aquifères (notamment celle de l'horizon superficiel) peut se répercuter sur les autres. Les principales caractéristiques de ces différents aquifères varient.

Les réservoirs de l'aquifère superficiel sont constitués par :

- une couche de sable d'épaisseur variable à granulométrie grossière située juste à la base de la Terre de Barre affleurante, et qui constitue un sol sidérolithique de 9 m d'épaisseur provenant du démantèlement de sols latéritiques (Houessou et Lang, 1979). Pour Guilcher (1959), cette couche de sable sur une couche argileuse plus ou moins discontinue se serait mise en place dans des conditions subsahariennes tropicales avec des consolidations sporadiques dans la plaine littorale, au Nord et au Sud ;
- des sables jaunes, puis des sables gris et bruns d'épaisseur variant de 10 à 20 m au maximum (Figure 4). Ces sables reposent sur une couche d'argile relativement épaisse et compacte. D'une structure homogène à nappe libre, l'aquifère

manière intensive. Les sables jaunes situés immédiatement au Sud de la lagune Djonou, où la nappe phréatique présente un dôme piézométrique, joueraient alors un véritable rôle de réalimentation de cette lagune mais aussi et surtout du champ de captage de Godomey. Par contre, le système aquifère inférieur est constitué de trois horizons plus ou moins distincts (Figure 4) dont les réservoirs respectifs sont relativement hétérogènes. Ces horizons aquifères sont compris dans des couches de sable et de gravier dont l'épaisseur varie considérablement d'un endroit à un autre. Les aquifères sont séparés en fait par des couches d'argile plus ou moins silteuses à sableuses qui se comportent par endroits comme du matériel semi-poreux ou poreux entraînant des communications hydrauliques entre les horizons. La figure 5 montre la coupe hydrogéologique du

périmètre de captage de Godomey (Boukari, 1998) indiquant la position des niveaux statiques au niveau du champ captant ainsi que le phénomène d'intrusion saline à l'Est du champ en 2000. Certaines activités économiques se mènent sur les périmètres du champ de captage de Godomey et compromettent la qualité de la ressource. Il s'agit des activités de maraîchage qui utilisent une importante quantité d'engrais chimique et de pesticide. Les activités de teinturerie aussi rejettent d'importante quantité d'eau usée dans le sol sans aucune épuration. Enfin, l'absence d'un dispositif de gestion des déchets solides ménagers et biomédicaux amène les populations à déverser ces polluants dans les puits domestiques abandonnés, contribuant ainsi à la pollution chimique et microbiologique des eaux de l'aquifère superficiel.



genda: 1- Sable argileux rouge ocre (Terre de Barre) ; 2- Argilite, argilite sableuse ou silteuse ; 3- Sable, gravier, sable silteux ; 4- Sable argileux et silteux ; 5- Niveau statique de la nappe du Continental Terminal ; 6- Sigle d'identification de forage ; 7- Surface eau douce-eau salée schématique ; 8- Zone d'intrusion saline dans les forages d'exploitation ; 9- Forage d'exploitation.

Figure 4. Carte (a) et coupe hydrogéologique (b) du champ de captage de Godomey (d'après Boukari *et al.*, 1995)

Figure 4. Map (a) and hydrogeological section (b) of Godomey well field (by Boukari and al., 1995)

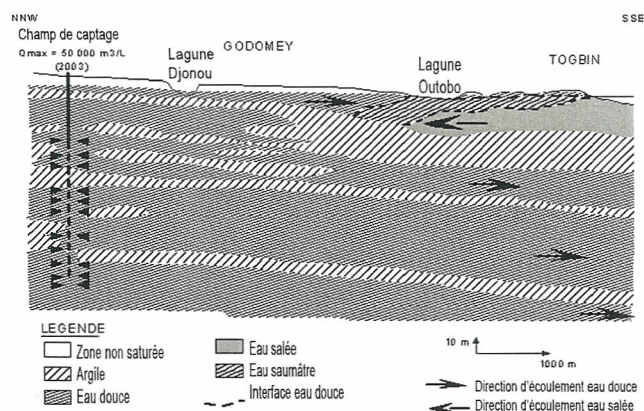


Figure 5. Coupe interprétative basée sur la distribution spatiale de la conductivité dans les aquifères et montrant la position de l'interface eau douce/eau salée océanique dans l'aquifère superficiel de la plaine littorale. (Boukari et Alassane, 2006.)

Figure 5. Interpretative cross section based on the spatial distribution of conductivity in aquifers showing the position of the fresh water interface / ocean salt coastal shallow aquifer. (Boukari and Alassane 2006)

METHODOLOGIE

Afin d'étudier l'impact de la pollution anthropique sur la qualité des eaux de l'aquifère superficiel du champ de captage de Godomey, deux campagnes d'échantillonnage pour des analyses physico-chimiques ont été effectuées. Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, rincés avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à échantillonner puis bouchonnés. Pour l'analyse des métaux lourds quelques gouttes d'acide nitrique ont été ajoutées à l'échantillon pour assurer une conservation dans un milieu acide, et immédiatement mis dans une glacière. Chaque campagne comprend 50 échantillons dans 5 puits et 10 forages. La première campagne a été effectuée (en saison pluvieuse) au mois de juillet 2010 et la deuxième (en saison sèche) au mois de janvier 2011.

Cette étude a donc concerné 9 quartiers situés sur le champ de captage de Godomey. Les analyses effectuées ont porté sur les variables suivantes : fer total, manganèse, mercure, cadmium, plomb et zinc. Ces métaux lourds sont dosés au niveau du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi par un spectrophotomètre HACH LANGE DR5000.

La température, la salinité et la conductivité ont également été mesurées in situ à l'aide d'un capteur multi paramètres PC HORIBA WATER QUALITY CHECKER U-10.

Pour identifier la contamination des eaux, on compare les valeurs obtenues aux normes béninoises de potabilité des eaux.

RESULTATS ET DISCUSSION

Diagnostic qualitatif des eaux de puits individuels du champ de captage

Le tableau I présente la température, la salinité, et la conductivité des eaux des puits individuels prélevées en juillet 2010. La température moyenne dans les puits enregistrée entre 7h00 et 8h00 du matin est de 28,5 °C. La plus forte valeur est de 30 °C observée à Hèvié et à Tankpè.

La salinité moyenne est de 0,092 mg/L avec une conductivité moyenne de 288,72 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La plus faible conductivité est enregistrée à Hèvié et la plus forte, à Tankpè avec une valeur de 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Le tableau II présente la température, la salinité, et la conductivité des eaux des puits individuels prélevées en janvier 2011.

Tableau I. Température, salinité, et conductivité des eaux des puits individuels en juillet 2010*Table I. Temperature, salinity and conductivity of water from individual wells in July 2010*

Puits	Température en ° C	Salinité en mg/L	Conductivité en $\mu\text{S/cm}$
Puits Tokan	28	0,10	195,60
Puits Togba	27	0,08	342
Puits Ouèdo	27,5	0,06	263
Puits Hèvié	30	0,10	93
Puits Tankpè	30	0,12	540

Tableau II. Température, salinité, et conductivité des eaux des puits individuels en janvier 2011*Table II. Temperature, salinity and conductivity of water from individual wells in January 2011*

Puits	Température en ° C	Salinité en mg/L	Conductivité en $\mu\text{S/cm}$
Puits Tokan	27,8	50,63	150,4
Puits Togba	27,5	110,73	243
Puits Ouèdo	28,1	8,90	226
Puits Hèvié	28,7	15,48	69,8
Puits Tankpè	28,7	183,58	651

De l'analyse du tableau, il ressort que la température moyenne dans les puits échantillonnés est de 28,16° C. Cette valeur est quasi identique à celle enregistrée en juillet 2010 mais la température maximale obtenue est de 28,7 °C toujours dans les puits de Hèvié et Tankpè.

La valeur moyenne de la salinité est de 73,9 mg/L. Cette valeur est plus de 800 fois supérieure à celle obtenue en 2010.

Quant à la conductivité la valeur moyenne de 268 $\mu\text{S/cm}$ est inférieure à celle enregistrée pendant la grande saison pluvieuse précédente. Cette variation s'explique par les périodes de hausses marée qui font entrer l'eau de la mer dans le lac.

Les figures 6 à 11 présentent les variations des teneurs en métaux lourds dans les eaux de puits de cinq localités différentes du domaine du

champ captant. Les résultats des analyses chimiques se présentent comme suit:

- Fer total

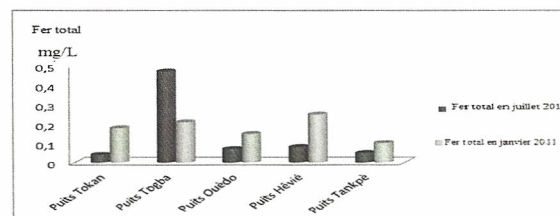
**Figure 6.** Variation spatio-temporelle de la teneur en fer total des eaux des puits

Figure 6. Change in time-space of iron content in individual wells

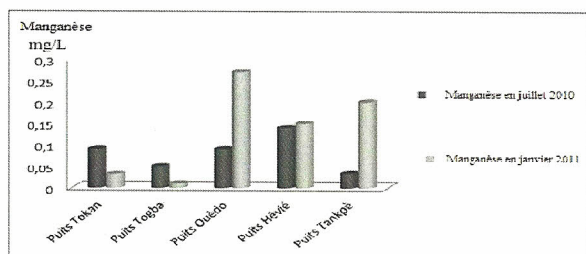
-Manganèse

Figure 7. Variation spatio-temporelle de la teneur en manganèse des eaux des puits individuels.

Figure 7. Change in time-space of manganese content in individual wells

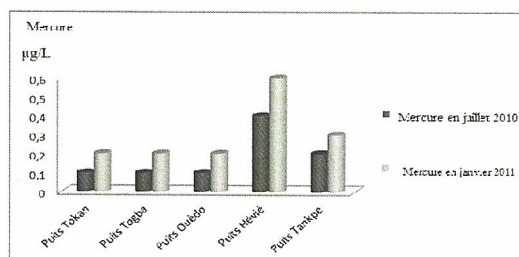
- Mercure

Figure 8. Variation spatio-temporelle de la teneur en mercure des eaux des puits individuels

Figure 8. Change in time-space of mercury content in individual wells

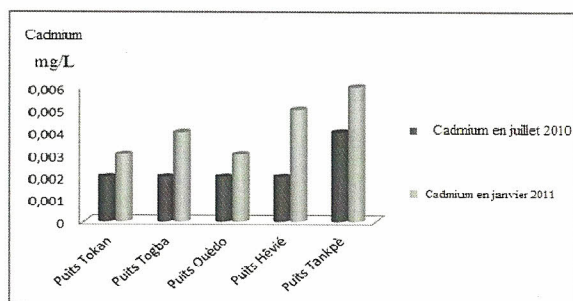
-Cadmium

Figure 9. Variation spatio-temporelle de la teneur en cadmium des eaux des puits individuels

Figure 9. Change in time-space of cadmium content in individual wells

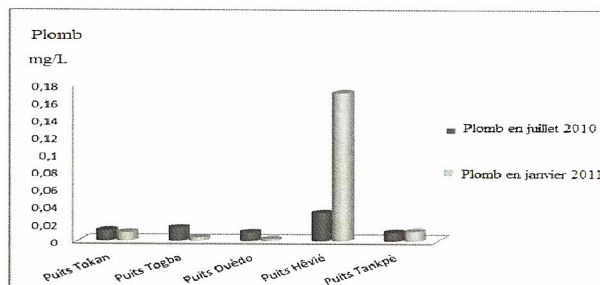
-Plomb

Figure 10. Variation spatio-temporelle de la teneur en plomb des eaux des puits individuels

Figure 10. Change in time-space of lead content in individual wells

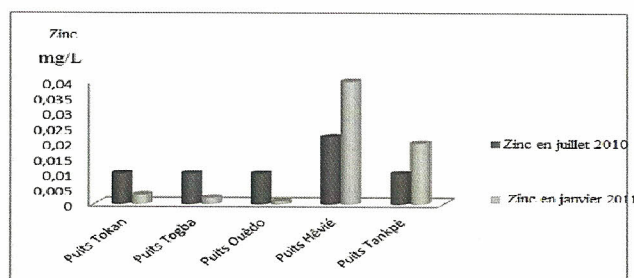
-Zinc

Figure 11. Variation spatio-temporelle de la teneur en zinc des eaux des puits individuels

Figure 11. Change in time-space of zinc content in individual wells

De l'analyse de ces six figures ci-dessus, il ressort que les eaux des puits de la localité de Hèvié sont polluées par le mercure (0,7 µg/L), le plomb (0,18 mg/L), et le Zinc (0,04 mg/L). La présence de ces polluants chimiques dans l'eau de cette localité est la conséquence d'une ancienne décharge d'ordure située dans le secteur.

De même, les eaux de puits de la localité de Tankpè contiennent du cadmium qui proviendrait des rejets d'eau usées dans les puisards par les teinturiers de la localité.

Diagnostic qualitatif des eaux des forages du champ captant

Température et conductivité. Le tableau III présente les valeurs de la température et de la conductivité de l'eau des forages situés sur le champ de captage.

La conductivité de l'eau des forages F7, F9 et F11 est très élevée par rapport aux autres forages du champ. Ces forages sont sujets au phénomène d'intrusion saline.

Tableau III. Températures et conductivités de l'eau des forages

Table III. Temperature and conductivity in boreholes

Forages	Température en °C	en µS/cm
A1	30,8	99
A9	30	98
A11	29.7	97.5
A12	31	98.5
A13	30.5	96
F7	30	500
F9	30	697
F11	31	595
F12	30	98
F13	30.5	80

DISCUSSION

En se référant aux dispositions contenues dans le décret 2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin, on constate que des problèmes existent au niveau de la qualité chimique des eaux des puits du champ de captage de Godomey. En effet, la mise en

exécution du plan d'aménagement du territoire dans la commune d'Abomey-Calavi n'a pas précédé l'installation des populations. A la fin des travaux de lotissement et de recasement, beaucoup de puits individuels se retrouvent sur les voies publiques. Pour les fermer, les populations y déversent des déchets solides de toute nature, en envoyant ainsi inconsciemment des déchets de la surface du sol vers l'aquifère superficiel qui alimente les puits voisins. Ce comportement explique les teneurs élevées en fer total (0,5 mg/L dans un puits de Togba alors que la norme est de 0,3 mg/L), et en plomb (0,18 mg/L dans un puits à Hèvié alors que la norme béninoise est de 0,05 mg/L). Ces polluants qui sont au-dessus de la norme ont été dosés pour la plupart dans les eaux des puits individuels situés aux alentours de ces puits individuels abandonnés et transformés en dépotoirs circonstanciels. Ces valeurs se rapprochent de celles de Azokpota (2005) qui a trouvé des teneurs en fer et plomb de valeurs respectivement de 0,8 mg/L et de 0,16 mg/L dans les eaux des puits des quartiers de Cotonou où se pratique les activités de teinturerie. En effet, l'intensité de la pollution des eaux souterraines dépend du type du sol et de la dose en polluants (White, 1986). C'est le cas de la nappe de Sèmè-Podji et d'autres de la sous-région telle que la nappe de Yembeul au Sénégal qui enregistre de fortes concentrations en polluants chimiques (Edorh, 2010). Ces résultats nous amènent à dire que le mode de gestion des eaux usées sur le champ de captage de Godomey contribue à la pollution chimique de l'aquifère superficiel du sud du plateau d'Allada.

A l'Ouest du champ de captage, les activités agricoles qui s'y mènent sont de nature à créer des problèmes écotoxicologiques dans cette zone. La région étant traversée par des cours d'eau (Bakamè, Alansankomè et Djonou), les maraichers utilisent des intrants agricoles (engrais chimiques) pour augmenter leur rendement. Au Sud Bénin, les activités agricoles s'intensifient dans les zones humides en général et le long des rivières en particulier. Par exemple, selon une étude menée par Chouti (2010a et 2010b), les eaux et sédiments de la lagune de Porto-Novo située au sud-est du Bénin sont pollués par les métaux lourds.

Par infiltration dans la nappe superficielle située à environ 20 m de la surface du sol dans cette localité (Togba), les résidus des polluants se retrouvent dans les eaux des puits individuels. Ainsi, un des puits individuel situé non loin de

la lagune Djonou a donné la composition en métaux lourds que voici : manganèse 0,032 mg/l ; plomb 0,1 mg/L. En prenant par exemple la concentration en plomb de l'eau de ce puits qui est de 0,1 mg/L, alors que la norme béninoise est de 0,05 mg/L, il y a un problème de pollution de l'eau de ce puits individuel par du plomb. La forte concentration du mercure (0,6 µg/L) dans l'eau d'un puits situé à Hèvié pourrait être liée à la proximité (50 m) de l'ancienne décharge d'ordure située dans cette localité. Quant à la pollution au mercure dans les puits échantillonnés à Tankpè (0,3 µg/L), elle serait la conséquence du rejet des eaux usées issues des teintureries dans le sol et aussi à l'impact des déchets solides biomédicaux qui jalonnent la localité. Les effets sur la santé sont connus pour de nombreuses substances chimiques susceptibles d'être présentes dans les eaux. Les individus qui consomment une eau riche en plomb sont exposés au saturnisme (Beauchamp, 2003). Le plomb agit au niveau du système nerveux périphérique en réduisant la vitesse de conduction des nerfs et peut créer des encéphalopathies graves chez l'enfant (Leyral et Vierling, 1997). Toutes les eaux des puits analysées contiennent du manganèse à des taux variables entre 0,05 mg/ et 0,3 mg/L. Cette pollution au manganèse dans la plupart des eaux de puits serait due aux innombrables décharges sauvages d'ordure du secteur d'étude. Le taux en zinc dans les eaux de surface est bas sur presque tous les sites en janvier et en juillet à l'exception de Tankpè. En juillet, il est de 4 mg/L et passe à 6 mg/L en janvier. La norme béninoise étant de 3 mg/L, il ressort que ce site est pollué chimiquement par le zinc. Le rôle des activités de teinture dans l'apport de zinc est ici remarquable. La principale cause de la pollution chimique des eaux des puits individuels est le manque d'hygiène et d'assainissement sur les périmètres du champ de captage. Toutefois, le problème de l'eau et de l'assainissement ne sont pas spécifiques au champ de captage de Godomey. Selon Gerba et Haas (1988), la fréquence et l'intensité de la contamination de l'eau varient dans le temps et en fonction de la géographie. Les populations anarchiquement installées sur les périmètres du champ de captage de Godomey ne disposent pas de réseau d'assainissement collectif. Ceux qui font l'assainissement individuel le font sans respect des normes sanitaires en vigueur.

Lorsque l'on analyse de près la qualité des eaux des forages, on constate qu'elles ne sont pas polluées par les métaux lourds car elles sont bien protégées par les couches géologiques imperméables. La minéralisation importante des trois forages (F7, F9, et F11) dont les conductivités sont respectivement de 500µS/cm, 697µS/cm et 595µS/cm s'expliquerait par leur forte teneur en chlorure.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de constater que les concentrations en métaux lourds des eaux des puits individuels situés sur le champ de captage de Godomey varient d'un point à un autre et d'une saison à l'autre. Ces polluants sont pour la plupart au-dessus de la norme béninoise contrairement aux eaux des forages qui sont de bonne qualité car bien protégées par les couches géologiques. Il urge de veiller au respect des servitudes sur le champ de captage pour ne pas polluer la nappe souterraine qui alimente la ville de Cotonou en eau potable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AITEC Environnement. 1994. *L'eau et l'assainissement dans les villes du monde*.
- Alassane, A. 2004. Etude hydrogéologique du continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de Porto-Novo (sud du Bénin) : Identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle. *Thèse doctorat troisième cycle*. UCAD Dakar – Sénégal, 145 p.
- Azokpota, V. 2005. *Impact de l'utilisation des colorants sur la qualité du milieu aquatique à Cotonou : cas de la teinture artisanale des textiles. Mémoire DESS/MQUE*. UAC/FAST. 68 p.
- Beauchamp, J. 2003. *La pollution littorale*. DESS Qualité et Gestion de l'eau. Université Picardie Jules Verne (France), 30 p.
- Boukari, M. 1998. *Fonctionnement du système aquifère exploité pour l'approvisionnement en eaux de la ville de Cotonou sur le littoral béninois : Impacts du développement urbain sur la qualité des ressources. Thèse Doctorat Etat*, UCAD, Dakar-Sénégal, 256 p.
- Calamari, D. 1994. *Situation de la pollution dans les eaux intérieures de l'Afrique de l'Ouest et du centre*. Doc Occas. CPCA.12, 28 p.
- Chouti, W, Mama, D. et Alapini, F. 2010a. Etude des variations spatio-temporelles de la pollution des eaux de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin). *International Journal Biological and Chemical Science.*, 4(4), 1017-1029.

- Chouti, W, Mama, D, Changotade, O, Alapini, F. et Boukari, M. 2010b : Étude des éléments traces métalliques contenus dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin). *Journal Applied Biosciences* **34**: 2186-2197.
- Decret N° 20001-094 du 200/02/2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin.
- Degbe, C. 2004. *La qualité de l'eau de puits dans la commune d'Abomey-Calavi et les facteurs exogènes de la pollution. Mémoire DEA, UAC/FLASH*, 112 p.
- Diarra, Mamadou Sanata. 2006. *Dispositif de traitement des eaux usées de teinturerie chez «Tantou Teinture» au Mali*, Info CREPA, N° 52, 5-7
- Dray, D., Giachello, L., Lazzaroto, V., Mancini, M., Roman, E. et Zuppi, G. M. 1988 : Etude isotopique de l'aquifère Crétacé du bassin sédimentaire côtier béninois. Actes du séminaire sur le développement des techniques isotopiques et nucléaire. Namey, Niger.
- Eodorh, P. et al. 2010. Qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau des puits cotiers : Cas de Sèmè-Podji (Bénin). *Revue Climat et Développement*.
- Géohydraulique 1985 : *Note explicative de la carte hydrogéologique à 1/200 000 du bassin sédimentaire côtier du Bénin. MET . DH. FED.23p + 1 carte hors texte.*
- Gerba, C. P. et Haas, C. S. 1988 : *Assessments of risks associated with enteric viruses in contaminated drinking water. HSTMSp.* 976, 489-494.
- GIGG. 1993. *Plan directeur et étude d'ingénierie pour l'alimentation en eau potable et l'évacuation des eaux pluviales, des eaux usées et des déchets solides. Tome 1.* 90 p.
- GIGG ou IGIP-GKW-GRAS 1983 : *Plan directeur alimentation en eau potable ville de Cotonou. Les ressources en eau. Ministère de l'Industrie, des Mines et de l'Energie. Vol 2.*
- Gove, L., Nicholson, F. A., Beck, A. J. 2001. Movement of water and heavy metals (Zn, Cu, Pb and Ni) through sand and sandy loam amended with biosolids under steady-state hydrological conditions. *Biosour. Technol.* **78**, 171-179.
- Guilcher, A. 1959. La région côtière du Bas-Dahomey occidental. *Bull. IFAN.* **XXI**, N° 3 et 4, 357-424.
- Houessou, A., Lang, J. 1979. Contribution à l'étude du Continental Terminal dans le Bénin méridional. *Science Géologie Bulletin* **31**, 4, 137-149., Strasbourg, France.
- Kunwar P. Singh, Dinesh Mohan, Vinod K. Singh, Amrita Malik 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments tributary of the Ganges, India. *Journal Hydrology* **312**, 14-27.
- Lemière, B., Seguin, J. J., Le Guern, C., Guyonnet, D., Baranger, Ph., Darmendrail, D., Conil, P. 2001. Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. *Document du BRGM* **300**. 121 p.
- Leyral, G. et Vierling, E. 1997 : *Microbiologie et Toxicologie des aliments : Hygiène et Sécurité Alimentaire*, (2^{ème} Edition : Biosciences et Techniques). Doin éditeur (France) , 264 p.
- Maliki, R. 1993 : *Etude hydrogéologique du littoral Béninois dans la région de Cotonou (AO). Thèse Doctorat 3ème cycle. Version provisoire UCAD, Dakar Sénégal.* 162 p. + annexes.
- Pallas, P. 1988. Contribution à l'étude des ressources en eau souterraine du bassin côtier du Bénin. Confrontation ressources-besoins. 29 p. + Annexes A, B, C et D (Projet PNUD, 1988).
- PNUD, GEO 3. 2002. *L'Etat de l'environnement : Passé, Présent, Avenir.* Communiqué de presse, p.1-7.
- Slansky, M. 1968. Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. *Thèse Université Niamey, série 59, n° 165* et 1962, *Mémoire BRGM n°11*, 170 p.
- SOGREAH/SCET-Tunisie 1997. *Etude de la stratégie nationale de gestion des ressources en eau du Bénin.* Rapports R1 à R7. Cotonou, Bénin.
- Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry* **51**, 848-851.
- TurkPak International - SCET-Tunisie. 1991. *Inventaire des ressources en eaux souterraines au Bénin.* Rapport final. V.1, 284 p. + annexes.
- Waris, C, Daouda, M. et François, A. 2010a. Etude des variations spatio-temporelles de la pollution des eaux de la lagune de Porto-Novo. *International Journal Biological and Chemical Science* **4**(4), 1017-1029.
- Waris, C, Daouda, M, François, A, Moussa, B, 2010b. Etude des éléments traces métalliques contenus dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin). *Journal Applied Biosciences* **34**, 218
- White, R. E., Dayson, J. , Jury, W. A. et Sposito, G. 1986. *A transfer function Model of Solute Transport Trough Soil, 2 illustrative Applications.* *Water Resources Research*, **22** (2) 248-254.
- World Water Concil. 2005 : *Les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) et l'objectif 10 sur l'eau et l'assainissement.*