Impacts des déchets de l'Abattoir de Cotonou dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe phréatique

Mickael Saizonou[1*], Boniface Yehouenou[2], Honoré S. Bankolé[3]
Roger Gérard Jossé[4], Henri Soclo[1]

[1]Unité de Recherche en Ecotoxicologie et Etude de Qualité / Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée/Ecole Polytechnique d'Abomey- Calavi ; 01 BP 2009 Cotonou, Rép du Bénin
[2]Unité de Recherche sur les Extraits Végétaux- Laboratoire d'Etude et de Recherche en Chimie Appliquée. Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi ; 01 BP 2009 Cotonou, Rep du Bénin
[3]Département de Génie de Biologie Humaine- Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi
[4] Laboratoire d'Analyses Physico-Chimiques des milieux aquatiques/ Faculté des Sciences et Techniques / Université d'Abomey-Calavi

(Reçu le 12/03/2009 – Accepté après corrections le 29/12/2010)

Résumé : La présente étude a eu pour objectif de caractériser les eaux usées de l'abattoir et les eaux de quelques puits traditionnels afin d'évaluer l'impact des déchets de l'abattoir sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou.
Pour ce faire, des prélèvements des eaux usées de l'abattoir et des eaux de quelques puits traditionnels environnants ont été réalisés. Tous ces échantillons obtenus ont fait l'objet d'analyses afin de déterminer les paramètres physico-chimiques usuels et les paramètres microbiologiques qui caractérisent la qualité hygiénique de l'eau.
Les valeurs moyennes obtenues pour quelques paramètres se présentent, pour les eaux usées, comme suit : DCO (852 ± 170 mg/L), nitrates (5,53 ± 2,14 mg/L), coliformes fécaux (1,4 x 10^6 ± 2 ,1 x10^5 UFC/100mL), streptocoques fécaux (1,1x10^6 ± 3,5 10^5 UFC / 50mL). Pour les eaux de puits, nous avons les valeurs suivantes: DCO (428 ± 97 mg/L), nitrates (2,43 ± 0,91 mg/L), coliformes fécaux (2, 50x10^4 ±3,4x10^3 UFC/100 mL), et streptocoques fécaux (2,35x10^4 ± 2,8x 10^3 UFC /50 mL).
Les résultats obtenus ont montré des valeurs, pour la plupart, supérieures aux normes autorisées par la législation en vigeur.
La contamination de la nappe phréatique autour de l'abattoir pourrait alors s'expliquer en partie, par une infiltration des eaux usées de l'abattoir.

Mots clés : Contamination, nappe phréatique, eaux usées, abattoir, Cotonou.

Impacts des déchets de l'Abattoir de Cotonou dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe phréatique

Summary: This study aimed to characterize the wastewater from the slaughterhouse and the waters of some traditional wells to assess the impact of wastes from the slaughterhouse on the quality of groundwater in Cotonou. To do this, samples of wastewater from the slaughterhouse and water from some surrounding traditional wells have been completed. All samples obtained were analyzed to determine the physic-chemical and microbiological parameters which characterize the hygienic quality of water.
The average values obtained for some different parameters are for wastewater as follows: COD (852 ± 170 mg / L), nitrates (5.53 ± 2.14 mg/L), fecal coliform (1.4 x10^6 ± 2. 1x 10^5 CFU /100 mL) , fecal Streptococci (1.1x10^6 ± 3.5x10^5 CFU / 50mL). For wells water, we have the following values: COD (428 ± 97 mg / L), nitrates (2.43 ± 0.91 mg / L), fecal coliform (250x 10^4 ± 3.4x 10^3 CFU / 100mL) and fecal streptococci (2.35 x10^4 ± 2.8 CFU / 50mL).
The results showed values mostly above permissible by the laws in force. The contamination of groundwater around the slaughterhouse could then be explained in part by an infiltration of wastewater from the slaughterhouse.

Keywords: Contamination, groundwater, sewage, slaughterhouse, Cotonou.

[*] Auteur de correspondance : Mickael Saizonou ; Email : kpessou67@yahoo.fr

1. Introduction

A Cotonou, les effluents liquides provenant de l'abattoir sont rejetés à travers un système de prétraitement non efficace dans l'océan atlantique tandis que les déchets solides sont enfouis sans aucune disposition particulière dans la cour de l'abattoir et dans ses alentours.
Ces effluents liquides et déchets solides générant nombreux microorganismes nocifs qui diffusent dans l'environnement hydrique, sont susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables. Le processus de contamination chimique des eaux souterraines est caractérisé par une migration verticale du fluide polluant dans le milieu non saturé entre la surface du sol et la nappe, laissant dans son sillage des terrains imprégnés à une concentration proche de la saturation. Les teneurs des fractions solubles du produit polluant évoluent avec le temps et la distance à la source, sous l'effet de la dilution, de la convection, de la dispersion due à la tortuosité des écoulements, entre les grains du terrain et enfin, de phénomènes de fixation ou de dégradation. Une fois la surface piézométrique franchie, la propagation du polluant ne rencontre pratiquement plus d'obstacles. Dans l'aquifère, en raison de la rareté ou de l'absence d'oxygène, de matières organiques et de microorganismes, le rôle épurateur est réduit, comparativement à la zone saturée [1].
Les différentes analyses bactériologiques réalisées pour les points d'eau de boisson en Afrique montrent que la plupart des puits traditionnels et sources d'eau sont polluées. En effet, au Burkina-Faso, au Rwanda, en Guinée Conakry et au Bénin, les études révèlent que respectivement 70 % des puits traditionnels au Burkina-Faso, 55 % des sources captées au Rwanda, 100 % des puits traditionnels et des sources captées en Guinée et 96 % des puits traditionnels au Bénin, sont pollués [2].
Les populations des localités environnantes de l'abattoir de Cotonou, utilisant en majorité l'eau des puits traditionnels pour leurs besoins quotidiens, sont le plus souvent, confrontées à des problèmes d'épidémies de diarrhées pendant les saisons pluvieuses.
Le présent travail a eu pour objectif de caractériser les eaux usées de l'abattoir et les eaux de quelques puits traditionnels afin d'évaluer l'impact des déchets de l'abattoir sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou .

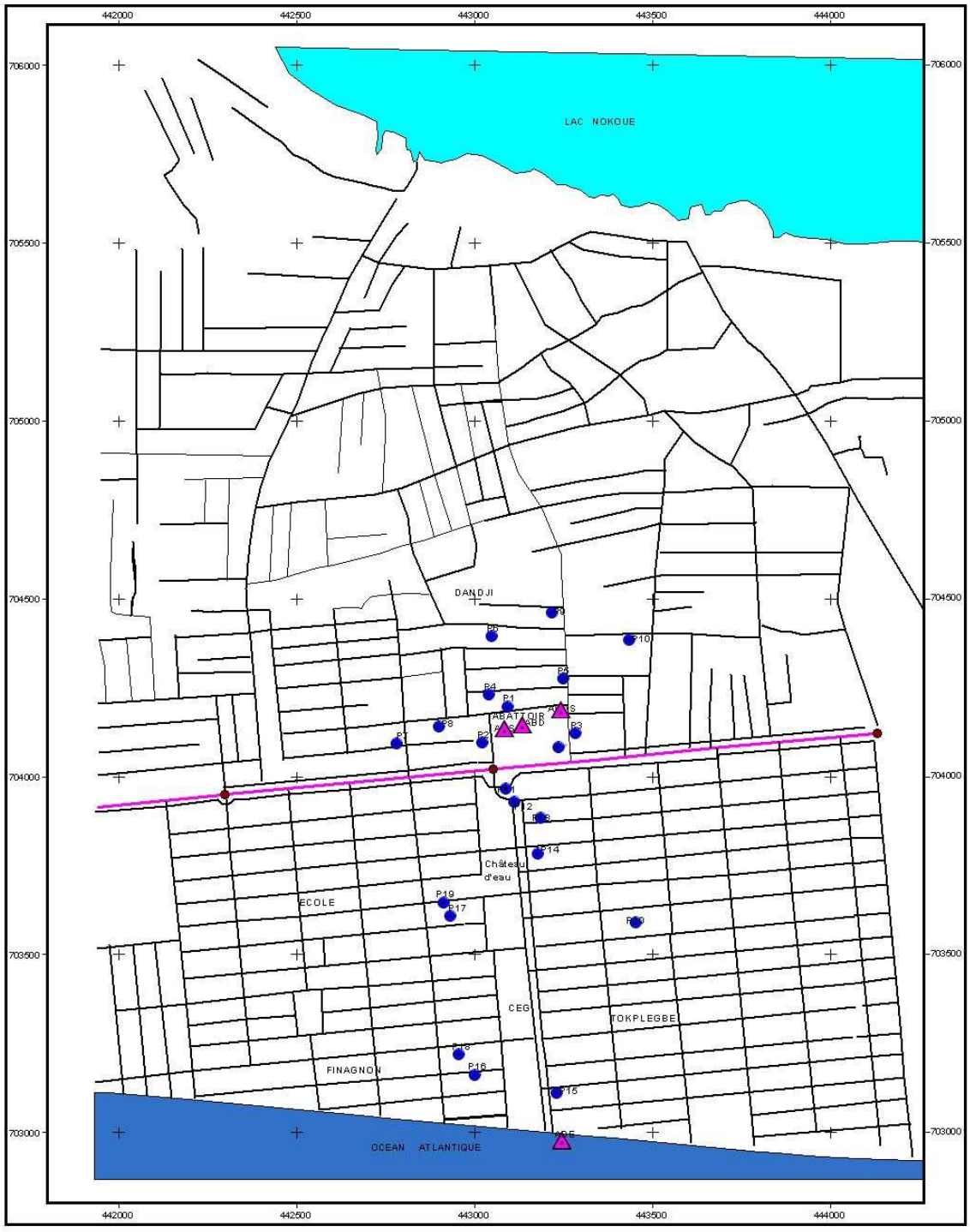
2. Matériel et méthodes

2.1 Description du site

La ville de Cotonou, est située en bordure du Golfe du Bénin entre 6°20' et 6°23' latitude Nord et 2°22'et 2° 30' longitude Est. Elle est bâtie entre l'océan atlantique au Sud et le lac Nokoué au Nord, avec une légère dépression orientée Ouest-Est vers le lac. Une nappe d'eau douce alimente la ville. Elle est située entre 0 et 4 mètres de profondeur, dans les sables siliceux. La gestion des effluents liquides de l'abattoir de Cotonou s'effectue au moyen d'un ensemble de rigoles à ciel ouvert par endroits, conduisant les eaux usées de la salle de saignée et de la boyauderie, vers une fosse de décantation sommaire sous-dimensionnée. Ces effluents issus de l'abattage et du traitement des bovins, des ovins et des caprins sont ensuite rejoints par ceux provenant du hall du traitement des porcins avant d'être acheminés par une canalisation souterraine vers une station de relevage comportant une pompe à immersion défectueuse. De cette station, ils sont envoyés directement dans la mer toujours au moyen d'une canalisation souterraine.
Les puits traditionnels se retrouvent dans presque toutes les maisons de Cotonou et la nappe phréatique est affleurante ; ce qui explique la très faible profondeur de ces puits et leur exposition à diverses contaminations.

DEPARTEMENT DU LITTORAL

ABATTOIR DE COTONOU ET SES ENVIRONS



2.2 Echantillonnage

Les échantillons d'eaux usées ont été prélevés mensuellement de Janvier à Octobre successivement à l'exutoire (ABE), en surface au sein de l'abattoir au niveau des canalisations de la boyauderie (ABB), du hall de saignée(ABS) et de la fosse de décantation(ABD). Les échantillons d'eaux ont également été prélevés au niveau d'un puits situé au sein de l'abattoir, de dix puits dans une zone A localisée dans un rayon de 100 à 500 mètres de l'abattoir et dans dix autres puits dans une zone B située au-delà des 500 mètres de l'abattoir. Ces prélèvements ont été réalisés dans des zones à fortes concentrations de populations humaines à faibles revenus mensuels. Tous ces échantillons ont été conservés dans des glacières à une température d'environ 4ºC.

2.3 Méthodes d'analyses

2.3.1 Détermination des paramètres physico-chimiques

La température, la conductivité et le pH ont été mesurés sur le terrain avec un salino conductimètre multi paramètres de type ProLine LF 197/LF 197-S.

L'oxygène dissous a été mesuré par le kit de Winckler. Les débits de l'effluent liquide ont été calculés à l'exutoire, par la méthode de capacité, en chronométrant le temps mis pour le remplissage d'un seau de 5L.

Les teneurs des matières en suspension ont été calculées par filtration sur filtre de GFC et séchage à 105ºC (AFNOR, T90-105).

Les huiles et graisses ont été déterminées par la méthode d'extraction liquide – liquide avec l'hexane comme solvant organique.

La teneur en nitrates est obtenue par la méthode de Nessler [3], celle en nitrite par la méthode de Zambelli [3].

La demande biochimique en oxygène (DBO) a été déterminée par incubation des échantillons de l'effluent liquide à l'obscurité et à 20 ºC dans un DBO-mètre de type a6 posti BOD system 10 contenant des flacons munis de DBO sensor. La demande Chimique en Oxygène (DCO) a été déterminée par oxydation en excès au dichromate de potassium à chaud en milieu acide (méthode AFNOR N T 90-101).

La teneur en phosphore total est obtenue sur des échantillons après minéralisation en milieu acide tandis que les ortho phosphates et les nitrates sont mesurés par la méthode colorimétrique au moyen du spectrophotomètre (HACH) DR/2010.

L'azote ammoniacal est déterminé par distillation suivie du dosage de l'ammonium par acidimétrie [3].

Le dosage du NTK est fait par distillation dans une unité de distillation K - 314 BÛCHI. La distillation a été précédée d'une minéralisation en milieu acide de l'azote organique en azote ammoniacal.

2.3.2 Détermination des paramètres microbiologiques

Les coliformes et les coliformes thermo tolérants, les streptocoques fécaux, les *spores de clostridium* sulfitoréducteurs et la flore mésophile totale ont été dénombrés et identifiés dans tous les échantillons.

Les staphylocoques ont été en outre recherchés dans les échantillons des effluents liquides de l'abattoir par culture sur gélose au tellurite de potassium.

La flore mésophile totale a été recherchée avec la gélose standard pour dénombrement, plate count agar selon la norme ISO 4830.

Les coliformes ont été mis en évidence à l'aide du bouillon lactosé au vert brillant et à la bile par la méthode du nombre le plus probable (NPP) selon la norme ISO 4831 dérivée des études de Mac Grady [4] ; leur confirmation et identification ont été réalisées par isolement sur gélose au bleu de méthylène éosine (EMB).

Les streptocoques fécaux ont été recherchés par ensemencement du bouillon contenant du violet d'éthyle et d'azide azothidrate de sodium selon la norme ISO 4832 et leur identification a été faite sur la bile esculine azide.

Les *spores de clostridium* ont été recherchées dans la gélose trypticase sulfite néomycine selon la norme ISO 7954.

3. Résultats et discussion

3.1 Cas des effluents liquides de l'abattoir

ou incinérée. Le contenu des panses entreposé sur le sol, produit des odeurs nauséabondes qui empestent l'air au cours de sa transformation et favorise l'infiltration du lixiviat dans le sol

Tableau I : Répartition quantitative des déchets solides générés en fonction du type d'animal

	Type de déchet			
Animaux	**Crottes**	**Cornes**	**Onglons**	**Total (en kg)**
Bovins	30	3,7	0,3	34
Ovins /Caprins	4,5	1,5	0,15	6,15

Tableau II : Paramètres physico-chimiques des effluents liquides de l'abattoir

Valeurs **Paramètres**	**Moyenne**	**Intervalle**	**Ecart-type**	**Nombre d'échantillons**
Température	30,6	23,5 -31,9	2,78	85
pH	6,53	5,63-8,68	0,51	85
O_2 dissous (mg/L)	0,89	0,19-7,2	0,22	85
Conductivité (µS/cm)	2360	1621-3470	145	85
DBO_5 (mg/L)	512	265-780	175	60
MES (mg/L)	720	512-958	91	60
Phosphore total (mg/L)	14,29	4,60-66	8,95	60
Ortho phosphate(mg/L)	4,90	2,23-8,69	1,65	60
NH_4^+(mg/L)	39,8	21,07-90,59	13,31	54
NO_2^- (mg/L)	5,01	3,8-7,1	1,7	51
NTK (mg/L)	220,4	48,6-425,6	80,69	45
Huiles et graisses (mg/L)	890	760-950	145	45

En moyenne, l'abattage d'un bœuf produit 34 kg de déchets solides tandis que celui d'un ovin ou caprin produit 6,15 kg. La quantité totale de déchets solides produits quotidiennement est égale à 1 ,22 tonnes dont les crottes représentent 82, 3%, suivies des cornes (14,5%), des onglons qui font 2 ,1% et des saisies 1,74%. Les saisies sont enterrées après dénaturation au crésyl, au pétrole ou à la chaux vive à l'intérieur de l'abattoir dans des fosses non étanches et à fond perdu en violation de la réglementation en vigueur en la matière au Bénin [5].

Les cornes, les onglons et les contenus de panse, par contre, sont accumulés dans la cour de l'abattoir à ciel ouvert sur un sol non étanche. Une partie de ces déchets est sporadiquement enlevée par les maraîchers sablonneux de l'abattoir ainsi que la présence des rongeurs. A ces déchets solides biodégradables directement générés par les activités d'abattage, s'associe une quantité non négligeable de sachets en plastique, de boîtes de conserve vides, de morceaux de pneus à moitié brûlés qui ont jadis servi de combustibles dans le traitement des peaux des ovins et caprins avant l'interdiction de ce procédé.

Les effluents liquides produits ont été évalués en moyenne à 50 mètres cubes par jour à partir du suivi quotidien, au début et à la fin, des activités liées à l'abattage et au traitement des animaux. Les résultats obtenus pour certaines analyses physico-chimiques, en ce qui concerne ces effluents sont présentés dans le tableau II.

Les effluents liquides de l'abattoir de Cotonou présentent des valeurs moyennes supérieures à celles obtenues pour la température, le pH et les MES pour les effluents de l'abattoir de Kénitra au Maroc par Belghyti [6]. Cependant les concentrations en MES sont nettement inférieures à celles obtenues par Gnagne pour l'effluent de l'abattoir de Ouagadougou [7] mais nettement supérieures à la norme de 100 mg/L autorisée au Bénin [8].

L'oxygène dissous est un facteur très important pour l'équilibre biologique des milieux hydriques. Ses valeurs élevées dans les effluents liquides de l'abattoir de Cotonou sont indicatrices de la présence de microorganismes aérobies épurateurs et sont certainement dues à la présence sanguine dans ces eaux car parmi les substances qui entraînent une importante consommation d'oxygène, il faut noter en particulier les sous-produits rejetés par l'industrie laitière, le sang rejeté par l'industrie de la viande, les déchets contenus dans les eaux usées domestiques [9].

Selon la norme européenne, la limite de la conductivité est fixée à 1500 µS/cm pour les eaux moyennement polluées. Les valeurs moyennes des effluents liquides de l'abattoir de Cotonou sont supérieures à celle ci et sont proches de 2700 µS/cm considérée comme valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur au Maroc [10] selon Belghity.

Les eaux usées de l'abattoir de Kénitra selon Belghity au Maroc contiennent en moyenne 0,089 mg/L de phosphates. Les valeurs que nous avons obtenues sont en moyenne, respectivement 14,29 mg/L pour le phosphore total et 4,90 mg/L pour les orthophosphates. Elles sont à rapprocher de celles obtenues par Maiga au Burkina Faso [11] mais elles sont plus faibles que celles obtenues par Massé et Masse au Canada [12] et inférieures à la limite de 100 mg/L qui est la norme béninoise.

Les taux en huiles et graisses sont compris entre 760mg/L et 950mg/L alors que selon les normes béninoises, ce taux ne devrait pas dépasser 100 mg/L dans les effluents industriels rejetés dans la nature. Ce taux est donc largement dépassé pour les effluents liquides de l'abattoir de Cotonou.

Les résultats obtenus pour la demande chimique en oxygène (DCO), pour les nitrates, et l'azote total, en ce qui concerne les effluents liquides, présentent des variations comme indiquées par les figures 1, 2 et 3.

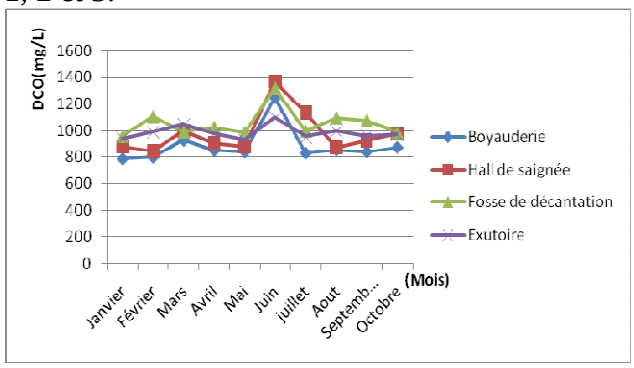


Figure 1 : Variations mensuelles de la DCO moyenne des effluents liquides

La DCO a gardé une valeur presque constante dans les effluents liquides pendant la période d'étude au niveau de chaque site de prélèvement. Les valeurs les plus élevées s'observent à tous les points de prélèvement pendant le mois de juin qui correspond à la saison des grandes pluies au Bénin.

Les valeurs moyennes de la DBO_5 et de la DCO dans ces effluents sont dix fois supérieures à celles d'une eau classée hors catégorie selon les normes européennes. Pourtant elles sont inférieures à celles indiquées par Gnagne pour les effluents liquides de l'abattoir de Ouagadougou. La valeur moyenne de la DBO_5 est largement supérieure à la norme de 100 mg/L en vigueur au Bénin.

Nos travaux ont révélé une valeur de 1,67 pour le rapport DCO/DBO_5. Ce rapport inférieur à 3 pour les effluents liquides indique une biodégradabilité de ces eaux. Quand au rapport DBO_5 /DCO, il est de 0,6 pour ces mêmes effluents. Cette valeur élevée indiquant le caractère très chargé en

matière organique de ces effluents, explique la persistance des odeurs nauséabondes senties à l'intérieur de l'abattoir et dans ses alentours.

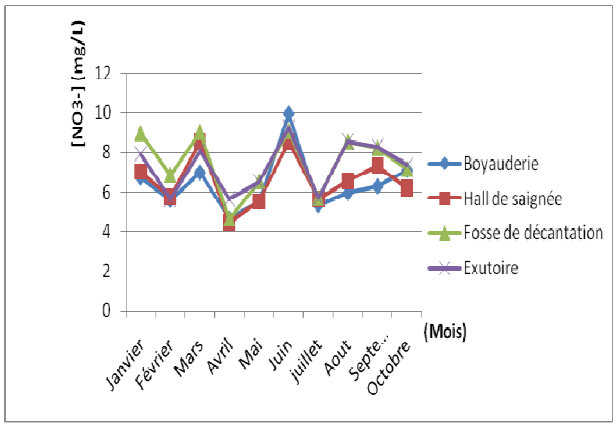


Figure 2 : Variations mensuelles du taux moyen de nitrates dans les effluents liquides

Les valeurs les plus élevées pour les variations du taux de nitrates sont également observés au mois de Juin.
Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre *Nitrosomonas*, puis en nitrates par les bactéries du genre *Nitrobacter*. Les nitrates sont très solubles dans l'eau; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation [13].
Comparées aux valeurs obtenues pour les nitrites au Maroc celles de l'abattoir de Cotonou sont largement supérieures.

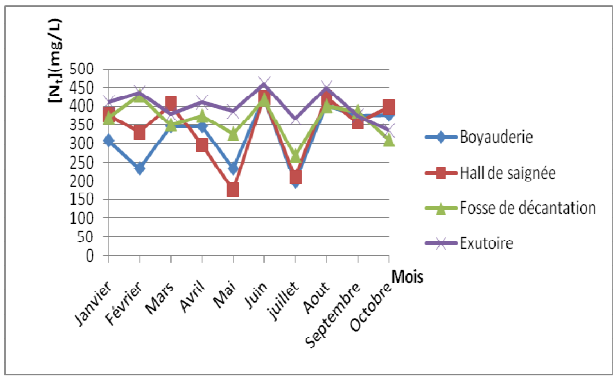


Figure 3 : Variations mensuelles du taux moyen d'azote total dans les effluents liquides.

Les variations mensuelles du taux d'azote total connaissent d'importantes fluctuations dans l'eau du hall de saignée et dans celle de la boyauderie. Les taux les plus élevés s'observent également pendant le mois qui correspond à la grande saison des pluies.
L'azote minéral dans l'ammonium (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-) et les nitrates (NO_3^-) constitue la majeure partie de l'azote total selon Belghity. La moyenne de 230, 94 mg/L obtenue pour l'azote total dans les effluents liquides est supérieure aux valeurs enregistrées par Miranda et col au Brésil pour les effluents liquides d'abattoir [14] et jugées très élevées par Belghity mais elles sont inférieures à celles obtenues par Gnagne à Ouagadougou.

Les analyses microbiologiques des échantillons d'eaux usées de l'intérieur de l'abattoir, révèlent que les flores aérobies mésophiles totales sont en deçà de 1,5 10^4 UFC/mL mais elles dépassent 6,0 10^4 UFC/mL pour celles qui sont directement impliquées dans les chaînes d'abattage. Par contre les flores de contamination fécale varient entre 1,02 10^6 et 2,58 10^6 UFC/100 mL pour les coliformes fécaux. Les eaux usées des abattoirs ne doivent pas contenir des taux supérieures à 400UFC /100 mL selon les normes de qualité des eaux résudiaires au Bénin.
Les charges microbiennes très élevées des eaux usées de l'abattoir témoignent de la pollution prononcée de ces dernières en matière fécale issue des contenus gastriques des animaux abattus et mal gérés. Le taux élevé de bactéries de contamination fécale anaérobies dans ces eaux pourrait s'expliquer par la très faible oxygénation de celles-ci qui sont trop chargées en matières en suspension, en huiles et graisses et autres matières organiques.

Tableau III : Paramètres microbiologiques des effluents liquides de l'abattoir

Paramètres / Valeurs	Moyenne	Intervalle	Ecart-type	Nombre d'échantillons
FMT (UFC/mL)	64000	56800-78000	5450	62
Coliformes fécaux (10^6UFC/100mL)	1,41	1,02-2,60	0,2	56
Spores de clostridium sulfitoréducteurs (UFC/20 mL)	Incomptables	-	-	62
Staphylocoques pathogènes (/mL)	4040	3580-4860	186	5

Ces eaux acheminées vers l'exutoire dans des canalisations souterraines constituent une zone de prolifération des bactéries aéro-anaérobies. Ceci est confirmé par le taux élevé de coliformes observé à l'exutoire par rapport aux échantillons des effluents prélevés à l'intérieur de l'abattoir. La fosse contenant la pompe à immersion étant partiellement détruite et la pompe elle-même étant en panne, les effluents liquides séjournent à ce niveau plus que prévu et sont par conséquent, le siège de multiplication de beaucoup d'autres microorganismes.

Les *spores de clostridium* sulfitoréducteurs restent incomptables dans la quasi-totalité des eaux usées de l'abattoir, preuve que les contaminations fécales sont d'une grande importance dans ces eaux. Seuls les échantillons d'eaux usées provenant du hall d'abattage des bovins, ovins et caprins, renferment en moyenne 4,04 10^3 UFC/mL de *Staphylococcus spp*. Associés à ces germes, nous détectons plusieurs anaérobies gazogènes non sulfitoréducteurs.

Les valeurs obtenues pour les paramètres mesurés sont plus faibles que celles obtenues par Herau en France [15]. Ceci pourrait s'expliquer par la différence climatique. Les eaux de l'abattoir de Cotonou subissent à notre avis une épuration microbiologique naturelle plus intense car elles sont plus exposées au soleil que celles des pays tempérés.

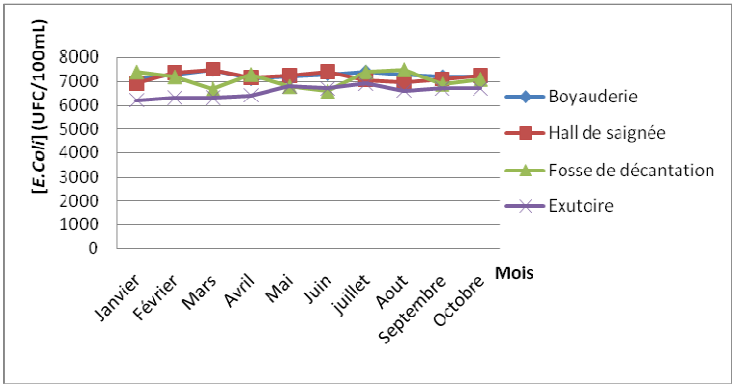


Figure 4 : Variations mensuelles du taux moyen d'E.coli dans les effluents liquides

Escherichia coli est une bactérie qui fait partie du groupe des coliformes totaux et constitue le seul membre de ce groupe que l'on trouve exclusivement dans les matières fécales des humains et des animaux. Sa présence dans l'eau indique non seulement une contamination fécale récente mais aussi la présence possible d'autres bactéries, de virus et de protozoaires pathogènes.

Les effluents liquides bruts de l'abattoir contiennent pratiquement des taux élevés presque identiques d'*Escherichia coli* à tous les points de prélèvement avec un léger taux d'abattement à l'exutoire témoignant ainsi du faible effet épurateur du système d'évacuation.

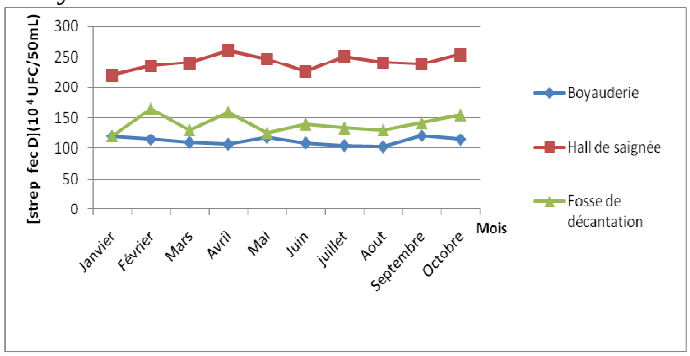


Figure 5 : Variations mensuelles du taux moyen de streptocoques fécaux D dans les effluents liquides

Les valeurs des streptocoques fécaux sont comprises entre 4,4 10^5 et 2,6 10^6 UFC/50mL et ont très peu varié au cours de la période d'étude au niveau de chaque site de prélèvement. Les taux les plus élevés rencontrés dans les eaux du hall de saignée pourraient s'expliquer par la proximité des différents parcs où sont gardés les bovins à l'abattoir de Cotonou.

3.2 Cas des eaux de puits

Les résultats obtenus pour certaines analyses physico chimiques des eaux du puits de l'abattoir se présentent comme suit :

Tableau IV: Paramètres physico–chimiques des eaux de puits

Paramètres \ Valeurs	Moye-nne	Intervalle	Ecart-type	Nombre d'échan-tillons
Température	30,8	28,8 -31,2	1,1	175
pH	6,35	6,28-7,63	0,41	175
O_2 dissous (mg/L)	3,42	2,67-5,20	0,63	175
Conductivité (µS/cm)	1050	985-1621	131	175
DBO_5(mg/L)	212	105-580	74	68
MES (mg/L)	123	96-558	28	75
Phosphore total (mg/L)	6,27	2,40-47	1,65	70
Ortho phosphate(mg/L)	2,60	0,63-6,69	0,55	55
NH_4^+(mg/L)	23,8	21,07-90,6	9,31	58
NO_2^- (mg/L)	9,51	8,71-10,32	1,3	48
NTK (mg/L)	124,5	28,40-235,60	22,69	60
Huiles et graisses (mg/L)	301	276-328	96	70

Selon Makoutodé et Col , une eau de température située entre 25°C et 28°C constitue un bon milieu de culture pour les micro-organismes de l'environnement ; ce qui signifie que l'élévation de la température des eaux de puits crée des conditions favorables à la pollution des eaux en milieu tropical. Les valeurs relevées pour la température dans les eaux des puits à Cotonou qui sont comprises entre 28,8°C et 31,2°C sont donc propices pour la prolifération des microorganismes.

Les variations enregistrées pour le pH de ces eaux de puits se rapprochent de celles des eaux destinées à la consommation au Bénin [16]. Il n'y a donc pas de pollution de ces eaux par des substances acides ou basiques due à l'infiltration par les effluents liquides de l'abattoir. Ces résultats sont également proches de ceux publiés par Njiné au Cameroun [17].

Les valeurs moyennes des matières en suspension sont largement supérieures à celles d'une eau déjà classée hors normes par la législation française (70mg/L). Ces valeurs élevées pourraient être liées à une infiltration dans la nappe phréatique du lixiviat issu des déchets provenant de la vidange des panses et des viscères. En effet ces déchets sont déposés sur une aire non protégée, cimentée certes, mais présentant d'importantes fissures et située juste à coté du puits de l'abattoir au niveau duquel les pics sont justement observés pour les valeurs obtenues.

Les valeurs enregistrées pour la conductivité sont proches de la norme de la législation française qui est estimée à 1000 µs/cm à 20°C pour l'eau de consommation humaine [18].

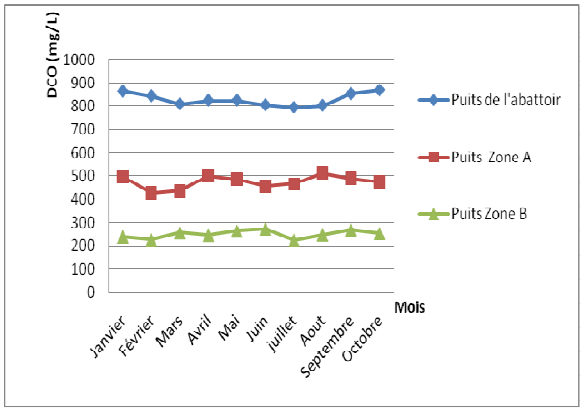


Figure 6 : Variations mensuelles de la DCO moyenne des eaux de puits

La DCO garde des valeurs qui n'ont pas subi de sensibles variations au niveau de chaque site de prélèvement. D'importantes diminutions ont été enregistrées au fur et à mesure qu'on s'éloigne du puits situé au sein de l'abattoir.

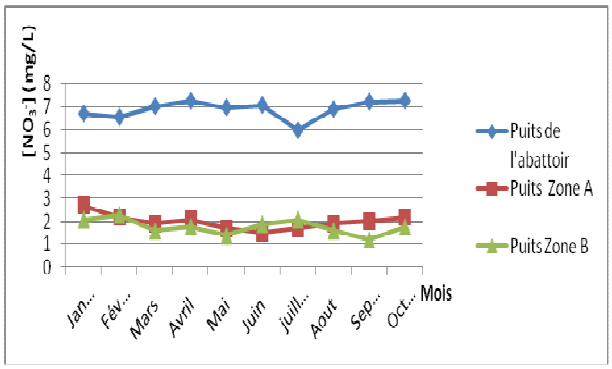


Figure 7 : Variations mensuelles du taux moyen de nitrates des eaux de puits

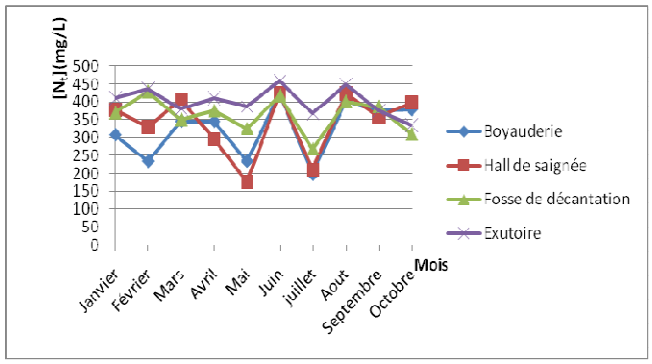


Figure 8 : Variations mensuelles du taux moyen d'azote total des eaux des puits

Les valeurs observées pour les nitrates dans les eaux de puits n'ont pas connu d'importantes variations au cours de la période d'étude ; elles sont largement inférieures à la norme béninoise (45mg/L) pour l'eau de boisson. La toxicité des nitrates résulte de leur réduction en nitrites et de la formation de méthémoglobine d'une part et de leur contribution possible à la synthèse endogène de composés N-nitrosés d'autre part [19].

Nos travaux ont révélé pour les nitrites, une moyenne trois fois supérieure à la limite de 3,2 mg/L admise par la norme béninoise pour l'eau de boisson. Comme signalé précédemment la faible oxygénation de ces eaux souterraines explique ces forts taux en nitrites.

Pour les eaux de puits, les teneurs en ammonium ont été estimées à plus de trois fois celles des eaux classées hors catégorie par la législation européenne (8mg/L) en matière de qualité des eaux. Ces valeurs sont trente fois supérieures à la limite en matière de qualité des eaux destinées à la consommation humaine par la législation française.

L'azote total présente aussi d'importantes variations au cours du temps mais les taux les plus élevés ont également été enregistrés pendant le mois de juin. Signalons cependant que les valeurs obtenues au cours des autres mois sont toutes hors normes pour que ces eaux soient utilisées comme eau de consommation.

Les eaux de puits présentent donc un réel danger pour la consommation du fait de leur pollution par les composés azotés et autres polluants chimiques et ne devraient donc pas être utilisées comme on l'a observé dans les maisons environnantes de l'abattoir de Cotonou, pour laver la vaisselle.

La charge microbiologique des eaux des puits analysées, affiche des quanta microbiens aérobies mésophiles totaux compris entre 300 et 21000 UFC/mL. Les échantillons prélevés à plus de 800 mètres de l'abattoir sont peu contaminés étant donné que les quanta de la flore aérobie mésophile totale sont compris entre 300 et 2400UFC/mL.

Les résultats obtenus pour la recherche d'*Escherichia coli* dans l'eau du puits de l'abattoir ainsi que les eaux des puits des zones A et B, sont représentés ci-dessous :

Tableau V: Paramètres microbiologiques des eaux de puits

Valeurs / Paramètres	Moyenne	Intervalle	Ecart-type	Nombre d'échantillons
FMT (UFC/mL)	4400	300-2,1 10^4	1230	120
Coliformes fécaux (UFC/100 mL)	25000	00-1,4 10^5	3400	120
Spores de clostridium Sulfitoréducteurs (UFC/20mL)	2500	900-6400	2300	120

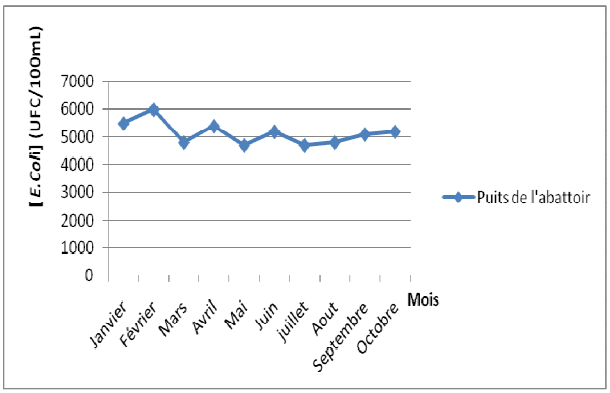


Figure 9 : Variations mensuelles du taux moyen d'*E.Coli* de l'eau du puits de l'abattoir

Dans le puits de l'abattoir on note des quanta variant entre 4,0 10^3 et 1,40 10^4UFC/100mL pour les coliformes fécaux avec un pic de 6 ,0 10^3UFC/100 mL pour *Escherichia coli*. Ceci préjudicie la qualité microbiologique de l'eau de ce puits et entraîne la non potabilité de cette eau.

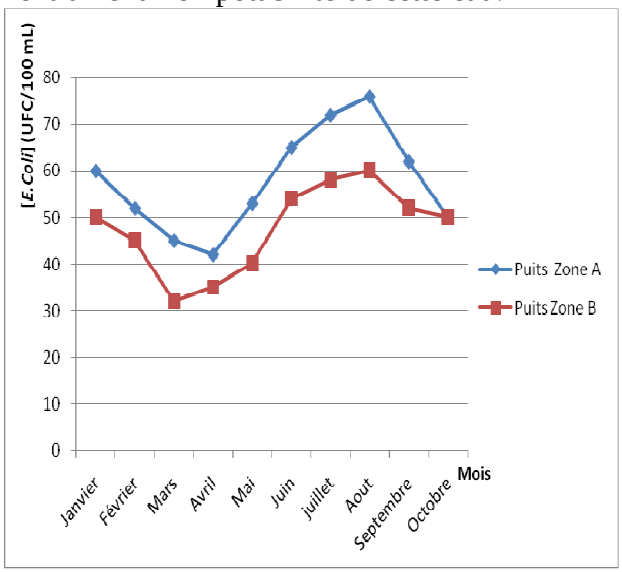


Figure 10 : Variations mensuelles du taux d'*E.coli* des eaux des puits des zones A et B

La flore thermo tolérante indicatrice de pollution fécale varie entre 0 et 1,4 10^6 UFC/100mL et les quanta des coliformes fécaux sont compris entre 00 et 1,4 10^5 UFC/100 mL dans les dix échantillons prélevés à plus de 800 mètres de l'abattoir. Ces taux plus faibles que ceux obtenus dans l'eau du puits de l'abattoir indiquent leur relative faible contamination par rapport à l'eau de ce puits.

Selon l'OMS, citée par les normes béninoises, la concentration maximale acceptable d'*Escherichia coli* dans les systèmes publics, semi-publics et privés d'approvisionnement en eau potable est l'absence totale de ce micro-organisme détectable par 100 mL. Les eaux du puits de l'abattoir ainsi que celles des puits des zones A et B sont donc fortement polluées au regard de cette norme.

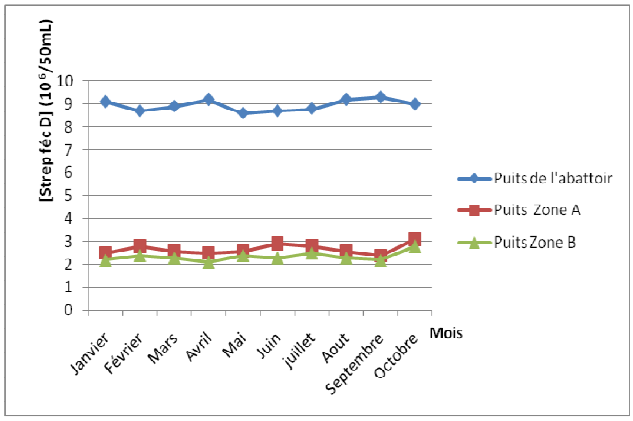


Figure 11 : Variations mensuelles du taux de streptocoques D des eaux de puits

Les streptocoques fécaux ont des quanta qui varient entre 0 et 4,1 10 ^{6}UFC/50mL et le ratio de contamination est de 25%. Certains de ces échantillons contiennent, des anaérobies sulfitoréducteurs.

La présence simultanée des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux dans l'eau du puits de l'abattoir traduit des contaminations fécales récentes et anciennes.

L'utilisation d'une telle eau pour le lavage et le rinçage des carcasses et des viscères, constitue un risque majeur d'atteinte à la qualité hygiénique de ces denrées alimentaires.

Les fortes charges bactériennes observées dans les eaux des puits des deux zones A et B pourraient s'expliquer également par la proximité des latrines de ces puits. Selon nos enquêtes 13,33% des latrines sont munies de puisards dont les parois facilitent l'infiltration des eaux usées issues des fosses dans le sol, entraînant ainsi une contamination de la nappe phréatique. Il est à noter cependant que

malgré ces risques de contamination, les valeurs des paramètres observées au niveau du puits de l'abattoir sont nettement plus élevées que celles observées dans les puits des maisons plus éloignées. Ceci confirme notre hypothèse de l'infiltration des déchets de l'abattoir dans la nappe phréatique.

4. Conclusion

Les abattoirs sont des lieux où la consomation d'eau est très importante à cause des multiples usages qu'on en fait. Les eaux usées issues de ces industries ne sont pas sans impact sur l'environnement. La présente étude a permis de procéder aux caractérisations physico-chimique et microbiologique des eaux usées de l'abattoir et de quelques puits traditionnels dans la ville de Cotonou et d'évaluer l'impact des déchets de l'abattoir sur la qualité de la nappe phréatique .
Les valeurs obtenues pour les différents paramètres au niveau des eaux de puits traditionnels aux alentours de l'abattoir sont presque toutes, au-delà des normes béninoises et internationales. L'eau de la nappe phréatique de l'abattoir de Cotonou et de ses environs est alors polluée et ne peut être utilisée pour la consommation. La comparaison des valeurs des paramètres physico-chimiques et microbiologiques obtenues pour les échantillons d'eau du puits situé à l'intérieur de l'abattoir et les échantillons d'eau des puits de la zone A et ceux des puits de la zone B a montré une différence significative, en particulier au niveau des paramètres microbiologiques. La dégradation de la nappe phréatique pourrait trouver en partie son origine dans la mauvaise gestion des déchets de l'abattoir car pour les eaux de puits, les pics des quanta microbiologiques ont été observés au niveau de celle du puits situé à l'intérieur de l'abattoir. En effet la charge microbienne très élevée de cette eau témoigne de sa pollution prononcée en matière fécale par les déchets générés au sein de l'abattoir. Il est donc urgent de réhabiliter et d'améliorer le système de traitement de ces déchets.
La pollution de la nappe phréatique pourrait également s'expliquer en partie par la mauvaise gestion des déchets ménagers et l'influence de ceux provenant des latrines dans cette nappe car contrairement à nos mesures, une décroissance linéaire des valeurs des paramètres de contamination devrait s'observer au fur et à mesure qu'on s'éloigne du puits de l'abattoir. Ceci aurait amené à n'attribuer la contamination de la nappe phréatique qu'aux déchets de l'abattoir.

Les auteurs remercient l'International Foundation of Sciences (IFS) pour le financement de ces recherches.

Bibliographie

[1]. Pollution et dépollution des nappes d'eau souterraine. www.u-picardie.fr /beauchamp/cours.qge/pol-sout/pol-sout.htm ;
[2]. Makoutode M ; Assani A,K ; Ouendo E.M ; Agueh V.D ; Diallo P; 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 1999, 46 (11) ;
[3]. Rodier J. 1978 ; L'analyse des eaux : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Paris. Ed Dunod, 1135 p **;**
[4]. Marchal N., Bourdon J.L., Richard CI., Les milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries. Biologie appliquée, 1991, nouvelle édition, p.200, 2006,239 ;
[5]. Art 32-33-89-90. 1987 ; Loi N° 87-015 portant Code de l'Hygiène Publique en République du Bénin ;
[6]. Belghyti D., Guamri Y. El., Ztit G., Ouahidi M.L., Joti M.B., Harchrass A., Amghar H., Bouchouata O., Kharrim K. El et Bounouira H. Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat cas de Kénitra au

Maroc . Afrique Science (2009) 05 (2) 199-216 ;
[7]. Gnagné T., Epuration par infiltration d'eaux usées à forte charge organique en milieu tropical. Thèse de doctorat. Université Montpellier II ; 1996 .p. 42 ; 175 p ;
[8]. Décret N°2001-109 du 04 Avril 2001 fixant les normes de qualité des eaux résiduaires en République du Bénin ;
[9]. Agence de l'eau Rhin Meuse (2005). Définition de la pollution de l'eau et ses impacts. Pollution et épuration de l'eau. www.eau-rhin-meuse.fr ;
[10]. Ministère de l'environnement du Maroc, (2002). Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc, N°5062 du 30 ramadan 1423.Rabat ;

[11]. Maïga A. H., Konaté Y., Wéthé J., Denyigba K., Zoungrana D., Togola L., Performances épuratoires d'une filière de trois étages de bassins de lagunage à microphytes sous climat sahélien : cas de la station de traitement des eaux usées de l'EIER. Sud Sciences et Technologies (Juillet 2006) 14 [12] M ;
[12]. Massé D.I, Massé L., Characterization of wastewater from hog slaughterhouse in Eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater treatment system. 2000b. Canadian Agricultural Engineering. (2000) 3, 139-146. Vol. 42;
[13]. Santé Canada. 1992; Le nitrate et le nitrite. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada – Documentation à l'appui. www.hcsc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/rqepdoc_appui/nitrate.pdf;
[14]. Miranda L.A.S., Henriques J.A.P., Monteggia L.O. A full-cale uasb reactor for treatment of pig and cattle slaughterhouse waste water with a high oil and grease content. Brazilian journal of Chemical Engineering. Vol.22, N°1, April 2002, pp.44-48;
[15]. Herau V; Loukiadis E.; Sandrin Gabriel-Robeze E.;Kerouredan M.; Brugere H. Dangers microbiologiques potentiels lies aux effluents d'abattoirs. Rencontres autour des recherches sur les ruminants (2007) 14, 203-206 ;
[16]. Décret N°2001-094. 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin ;
[17]. Njine T. 2001 ; Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé. Volume 11, Numéro 2, 79-84, Avril - Mai - Juin, Etudes originales ;
[18]. Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine depuis 2003. Centre d'information sur l'eau. www.cieau.com;
[19]. Groupe scientifique sur l'eau ; Institut national de santé publique du Québec. (Juillet 2003). Fiche Nitrates/Nitrites.