



Risque de diarrhée infectieuse associé à la consommation des eaux de puits traditionnels d'Agboville (Côte d'Ivoire) (Risk of infectious diarrheal associated with the consumption of traditional shallow well water of Agboville (Ivory Coast))

A. N. B. KOUADIO^{1,*}, K. J. T. KOFFI¹, K. O. KRA², D. L. GONÉ¹

¹Laboratoire de Géosciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire,

²Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire,

Received 2 Dec 2019; Revised 16 Dec 2019, Accepted 23 Dec 2019

* Corresponding author : kavanelly@yahoo.fr

Keywords

Agboville
Escherichia coli
Health risk
Infectious diarrhea

Abstract

Poor drinking water quality is a factor in the growth of infectious diarrheal diseases. The main of this study was to determine Agboville's well water microbiological quality and the level of infectious diarrhea risk associated. Fifty (50) water samples were collected and analyzed during drying and raining seasons using methods described by French Standards Association (AFNOR) to determine water microbiological quality. Quantitative Microbial Risk Analysis (QMRA) was used to quantify the infectious diarrheal disease risks associated with pathogenic *Escherichia coli*. During these two seasons, wells water microbiological quality was poor according to WHO guidelines for total and faecal coliforms, *Escherichia coli* and faecal streptococci. The values of infectious diarrheal disease risks related to pathogenic *Escherichia coli* of drinking well water stored in households for children under 3 years of age ($7,5.10^{-1}$), children aged 3 to 5 years ($6,3.10^{-1}$ and $6,5.10^{-1}$) and adults ($7,5.10^{-1}$) are greater than 10^{-4} , the acceptable risk value defined by WHO. Disinfection of these waters is becoming a necessity.

Mots-clés

Agboville
Escherichia coli.
Risque sanitaire
Diarrhée infectieuse

Résumé

La mauvaise qualité de l'eau de consommation est un facteur de croissance des maladies diarrhéiques infectieuses. L'objectif de cette étude est de déterminer la qualité microbiologique des eaux de puits d'Agboville ainsi que le niveau de risque de diarrhée infectieuse associé. Des analyses microbiologiques ont été effectuées en saison sèche et en saison pluvieuse sur les eaux de 50 puits selon les normes françaises (AFNOR) pour la détermination de la qualité des eaux. L'analyse quantitative des risques microbiens (QMRA) a été utilisée pour quantifier le risque de diarrhée infectieuse lié aux *Escherichia coli* pathogènes. Pendant ces deux saisons, les eaux de puits présentent une mauvaise qualité microbiologique conformément aux valeurs guide de l'OMS des coliformes totaux et fécaux, *Escherichia coli* et streptocoques fécaux. Les valeurs du risques de diarrhéique infectieuse liée aux *Escherichia coli* pathogènes des eaux de puits destinées à la

boisson stockée dans les ménages des enfants de moins de 3 ans ($7,5.10^{-1}$), des enfants de 3 à 5 ans ($6,3.10^{-1}$ et $6,5.10^{-1}$) et des adultes ($7,5.10^{-1}$) sont supérieures à 10^{-4} , valeur acceptable du risque défini par l'OMS. La désinfection de ces eaux devient une nécessité.

1. Introduction

L'insuffisance d'accès de 76 % et de 78 % de la population d'Afrique subsaharienne respectivement aux services d'alimentation en eau et d'assainissement de base gérés en toute sécurité contribue au décès annuel par les maladies diarrhéiques infectieuses, de 180 000 enfants de moins de 5 ans [1]. Ce problème de santé publique représente le risque sanitaire associé à l'eau de boisson le plus courant et le plus répandu dans cette région [1]. En Côte d'Ivoire où 54 % de la population n'a pas accès aux services d'alimentation en eau gérés en toute sécurité, 55 % ne dispose pas d'installations sanitaires adéquates et 4 % défèque à l'air libre [1], la diarrhée infectieuse représente l'une des trois principales causes de morbidité et de mortalité. Son incidence chez les enfants de 0 à 4 ans est estimée à 8,88 % selon le Rapport Annuel sur la Situation Sanitaire (RASS) de 2015 [2].

À Agboville, des cas de diarrhée aqueuse aiguë, de diarrhée sanglante aiguë et de diarrhée aiguë sans déshydratation ont été enregistrés respectivement chez 6 %, 17 % et 76 % des enfants de 0 à 4 ans au cours de l'année 2014 selon les données de la direction de l'informatique et l'information sanitaire (DIIP). Dans cette ville, près de 59,49 % des ménages s'approvisionnent en eau potable à partir des puits traditionnels [3,4]. L'usage élevé des eaux de puits à Agboville est lié d'une part à la faiblesse des revenus d'une frange de la population (indice de pauvreté de 44,6 % et d'extrême pauvreté de 8,3 %) [5] et d'autre part à l'insuffisance du traitement de l'eau de robinet caractérisée par sa coloration jaune / brun et son goût et son odeur de vase [6]. Ces eaux de puits consommées sans traitement peuvent contenir des germes pathogènes responsables de ces infections comme cela a été prouvé par [7] pour les eaux de puits de Grand-Morié et d'Azaguié situées dans le département d'Agboville. En effet, les maladies diarrhéiques infectieuses peuvent être provoquées par des virus, des parasites et des bactéries pathogènes présentes dans l'eau de boisson. Les souches pathogènes de *Escherichia coli* (*E.coli*) constituent la première cause de diarrhées infectieuses au sein de la population infantile [8]. Le mécanisme de pathogénicité de *E.coli* intervient au niveau des microvillosités de la brosse intestinale de l'homme. Celles-ci s'altèrent suite à leurs invasions grâce à des adhésives ou facteurs de colonisation, selon un modèle d'attachement-effacement [9,10]. Il s'en suit une diarrhée qui, dans les formes les plus sévères, suscite une déshydratation par perte d'eau et d'électrolytes et une dénutrition qui devient mortelle. La connaissance de la qualité microbiologique des eaux de puits d'Agboville ainsi que le risque sanitaire associé s'impose. L'évaluation des risques sanitaires microbiologiques pour l'homme est basée sur l'application de l'évaluation quantitative des risques microbiens (QMRA) [11]. La QMRA est utilisée lorsque la part de morbidité qui peut être attribuée à l'eau de boisson est faible ou difficile à déterminer directement par la pharmacovigilance ou des études épidémiologiques analytiques [11]. Elle permet à la fois de comprendre et de gérer les dangers microbiens liés à l'eau [11]. L'objectif de ce travail est de déterminer la qualité microbiologique des eaux de puits ainsi que le niveau de risque de diarrhée infectieuse associé.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

Agboville est située au Sud-Est de la Côte d'Ivoire et couvre une superficie de 1602,1 km² [12]. Sa population est estimée à 95 093 habitants répartie en 18572 ménages [5]. Son climat

tropical humide est caractérisé par deux saisons pluvieuses (Avril-Juillet et Septembre - Octobre) et deux saisons sèches (Août-Septembre et Décembre-Mars), une hauteur annuelle de précipitation atteignant 1200 mm et une température moyenne de 27 [13]. La géologie de la ville est dominée par les roches granitiques et schisteuses issues des formations du socle cristallin. De ces structures rocheuses, des aquifères d'altérites captés à partir des puits traditionnels, ont été mis en évidence et leurs épaisseurs varient de 2,2 m à 47 m dans les formations granites et de 4,22 m à 66 m dans les formations schisteuses. Les débits d'exploitation de ces aquifères sont généralement très faibles ($Q < 1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) lorsque la profondeur des ouvrages de captage est en-dessous de 30 m [13].

Dans le cadre de cette étude, Agboville a été repartie en quatre zones en fonction du taux de consommation d'eau de puits par quartier [3,4]. Ainsi les quartiers résidentiels sont situés dans la zone 1 et dans une partie de la zone 2. Ces quartiers se trouvent dans les zones de bas-fonds et entre 13 % et 16 % des ménages respectifs consommant l'eau de puits s'y trouvent (Figure 1). En revanche, les zones 3 et 4 sont constituées uniquement de quartiers à très forte densité de population. Elles enregistrent les fortes pentes et 30 % et 41 % des ménages consommant l'eau de puits sont respectivement dans les zones 4 et 3.

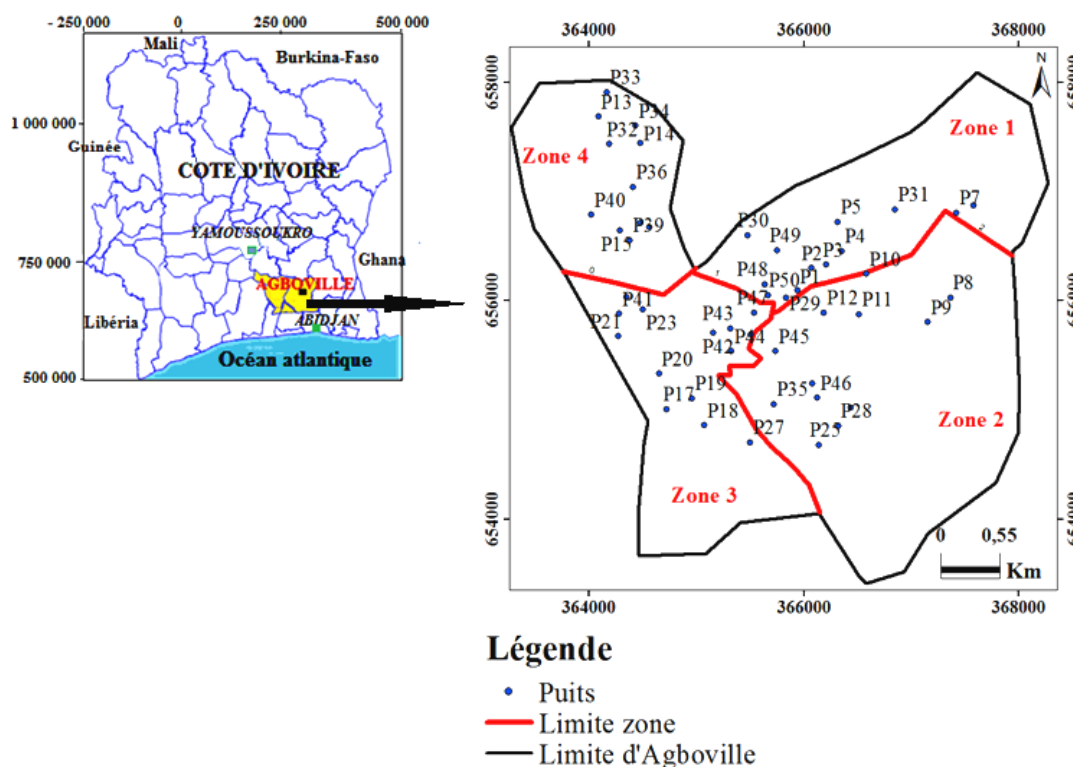


Fig.1. Localisation de la zone d'étude et des puits échantillonnés

2.2. Echantillonnage et analyse microbiologique des eaux de puits

Le choix des puits échantillonnés a été fait proportionnellement à leur taux de consommation par quartier [3,4], leur usage dans les ménages, leur répartition spatiale et à la pression de puisage qu'ils subissent. Ainsi les puits situés dans les ménages où les eaux sont destinées à la boisson ont d'abord été sélectionnés. Puis, ceux dont les eaux ne sont pas traitées et

sont stockées et séparées des eaux destinées aux autres usages ont été pris en compte. Parmi ces puits, ceux qui desservent plusieurs ménages et présentant une bonne répartition spatiale ont été retenus. Sur la base de ces critères ci définis, 50 puits dont les coordonnées géographiques ont été relevées par un GPS de marque MLR SP 12X ont été repartis dans les quatre zones sur la carte en fonction de leur rapprochement et de leur environnement immédiat (Figure 1). Les zones 1, 2, 3 et 4 enregistrent respectivement 13, 12, 14 et 11 puits.

Cent (100) échantillons d'eau brute de puits et cent échantillons d'eau des mêmes puits stockés dans les ménages ont été collectés au cours de deux (2) campagnes d'échantillonnage saisonnières réalisées au niveau des 50 puits. Ces campagnes ont été menées en 2014 pendant les mois de janvier (grande saison sèche) et mai (grande saison des pluies). Les échantillons prélevés ont ensuite été conservés à l'abri de la lumière dans des glacières contenant des packs réfrigérants (4 °C) puis, transportés au laboratoire du Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS) pour l'analyse des coliformes totaux et fécaux, *Escherichia coli* (*E. coli*) et streptocoques fécaux par la méthode de membrane de filtration.

Le dénombrement des coliformes a été effectué sur le milieu chromogène COMPASS Ecc Agar (Biokar, référence : 9102021) selon la norme ISO 9308-1:2000 après incubation des milieux contenus dans les boîtes de Pétri à différentes températures. Pour le dénombrement des coliformes totaux, les milieux de culture ont été incubés à une température de 37°C pendant 24 heures \pm 2 heures. Après incubation, les coliformes totaux caractérisés par la couleur rose sur gélose ont été comptés. Concernant les coliformes fécaux et *E. coli*, les milieux ont été incubés à une température de 44°C pendant 24 heures \pm 2 heures. Les colonies caractéristiques des coliformes fécaux (colonies bleues à violettes) et *E. coli* (colonies roses) ont fait l'objet d'un comptage. Les streptocoques fécaux (entérocoques) ont été dénombrés en utilisant la gélose Slanetz (Biokar, France) selon la norme ISO 7899-2:2000. Les milieux de culture ont été incubés à 37°C pendant 24 heures \pm 2 heures. Les colonies caractéristiques des streptocoques de couleur rouge ont été comptées.

Les classes de qualité microbiologique des eaux définies par l'OMS [11] à partir des charges N (ufc.100mL⁻¹) des coliformes totaux (bonne : $N \leq 10$; médiocre : $11 \leq N \leq 150$; mauvaise : $N > 150$), des coliformes fécaux (bonne : $N = 0$; médiocre : $1 \leq N \leq 10$; mauvaise : $N > 10$) et des streptocoques fécaux (bonne : $N = 0$; médiocre : $1 \leq N$; mauvaise : $N > 1$) ont été utilisées pour déterminer la qualité des eaux de puits.

2.3. Evaluation quantitative du risque microbiologique (QMRA)

L'évaluation du risque sanitaire microbiologique consiste à estimer et à quantifier la probabilité d'apparition d'une maladie chez l'homme suite à l'exposition de celui-ci à un micro-organisme pathogène sur une période définie [14]. La méthode d'évaluation quantitative du risque microbiologique (QMRA) utilisée a été appliquée en quatre étapes que sont l'identification du danger, l'évaluation de l'exposition, l'évaluation de la dose réponse et la caractérisation du risque [14].

2.3.1. Identification du danger

Les *E. coli* pathogènes ont été choisis comme danger car ils sont la première cause de diarrhées infectieuses bactériennes chez les enfants de moins de 5 ans [15] et sont les germes de référence les plus utilisés dans l'application de cette méthode [16,17].

2.3.1. Evaluation de l'exposition

Cette étape consiste à estimer la concentration et la dose journalière des *E. coli* pathogènes absorbée capable de causer une infection chez un individu ou dans une population. Dans cette étude, la seule voie de consommation considérée est la boisson de l'eau de puits. Pour cela, le scénario élaboré a été l'exposition des enfants de moins de 5 ans et des adultes aux concentrations de *E. coli* pathogènes contenues dans les eaux de boisson stockées dans les ménages pendant les deux saisons d'étude.

Les *E. coli* pathogènes ont été estimés sur la base du ratio défini par [18] selon lequel les *E. coli* pathogènes constituent 8 % de la population totale des *E. coli* dans l'eau. Puis leurs prévalences (PR) dans les eaux ont été déterminées. Les valeurs des *E. coli* pathogènes obtenues ne suivant pas une distribution normale, ont été transformées en valeurs log-normales et les moyennes géométriques ont été utilisées pour déterminer la dose moyenne journalière.

La dose moyenne journalière a été obtenue en multipliant les concentrations d'*E. coli* pathogènes par la quantité moyenne d'eau ingérée par jour et par personne. A cet effet, la quantité d'eau journalière de 1,6 L. j⁻¹ consommée par les adultes a été obtenue à partir des réponses des questionnaires renseignées par les chefs des ménages visités. Pour les enfants de moins de 5 ans, les quantités d'eau fournies pour l'évaluation du risque sanitaire (âge < 1 ans : 0,3 L. j⁻¹ ; 1 < âge < 3 ans : 0,61 L. j⁻¹ ; 3 < âge < 5 ans : 0,87 L. j⁻¹) ont été utilisées [19].

2.3.3. Evaluation de la dose réponse

Pour l'évaluation du rapport dose-effet, le modèle Bêta-Poisson décrit dans le tableau 1 a été utilisé. La probabilité d'infection des *E. coli* pathogènes a été calculé sur la base de l'impact lié à *E. coli* O157:H7 qui est le pathogène de référence [14]. Pour *E. coli* O157 : H7, α (paramètre qui décrit la sensibilité de l'hôte) = 0,373 et d50 (dose médiane provoquant l'infection chez 50 % des personnes ayant consommé l'eau) = 7,336 [20].

2.3.4. Evaluation de la dose réponse

La caractérisation du risque a consisté à calculer le risque d'infection journalier et annuel des *E. coli* pathogènes, le risque annuel de maladie diarrhéique par personne et au sein de la population à partir des formules décrites dans le tableau 1. Pour la détermination du risque de maladie diarrhéique au sein de la population, la proportion des personnes consommant l'eau de puits par zone a été estimée à partir des données de l'INS [4,5]. .

Tableau 1 : Procédure de calcul du risque sanitaire microbiologique

Etape de l'évaluation quantitative du risque microbiologique (QMRA)	Description	Variable	Modèle, valeur et distribution	Sources
Identification du danger	Concentration <i>E. coli</i> pathogènes par litre	C	Valeur log-normal d' <i>E. coli</i> pathogènes obtenue	Analyse microbiologique
Évaluation de l'exposition	Volume d'eau consommé par jour	V	Transformation en log-normal	Données enquêtes
	Exposition à l'eau de boisson	E	$E = C * V$	Calcul
Évaluation dose-réponse	Dose-réponse	r	$P_{inf} = 1 - [1 + d/50 (2^{1/\alpha} - 1)]^{-\alpha}$ $\alpha = 0,373$ et $d50 = 7,336$	[20]
	Risque d'infection par jour	$P_{inf, j}$	$E * r$	Calcul
	Taux de prévalence	PR	% des puits contenant <i>E. coli</i> pathogènes	Analyse microbiologique
	Risque annuel d'infection	$P_{inf, A}$	$1 - (1 - P_{inf, j})^{365} \times PR$	[21]
Caractérisation du risque	Risque de maladie diarrhéique en cas d'infection	P_{illinf}	80 -100 %	[22]
	Risque de maladie diarrhéique par ans	P_{ill}	$P_{inf, A} \times P_{illinf}$	Calcul
	Proportion des personnes exposées	P_p	% de personnes consommant l'eau de puits conservée dans les ménages	Données enquêtes
	Risque de maladie diarrhéique par rapport à la population exposée	P_{illp}	$P_{ill} \times P_p$	Calcul

3. Résultats et discussion

3.1. Caractérisation microbiologique des eaux de puits

Le tableau 2 présente la charge bactérienne des eaux de puits étudiés. Il indique les valeurs minima et maxima de chaque paramètre ainsi que celles de la moyenne, des écart-types et des proportions des eaux de puits supérieures aux valeurs guides de l'OMS de chaque zone. Pendant les saisons sèche et pluvieuse, les valeurs moyennes (ufc.100mL⁻¹) des coliformes totaux (208 ± 205 ; 434 ± 338) et fécaux (193 ± 162 ; 335 ± 269), *E. coli* (145 ± 107 ; 279 ± 229) et streptocoques fécaux (175 ± 127 ; 247 ± 204) sont supérieures aux valeurs guide de l'OMS [11] dans l'ensemble de la zone d'étude. La présence des coliformes totaux et fécaux, des *E. coli* et des streptocoques fécaux a été respectivement prouvée dans environ 90 %, 88 %, 84 % et 98 % des puits. Les eaux de puits d'Agboville présentent dans l'ensemble une mauvaise qualité microbiologique conformément aux valeurs guide de l'OMS. Ces résultats sont en accord avec les fortes charges bactériennes observées par [23,7] dans les eaux de puits respectif de Korhogo et de Grand-Morié et d'Azaguié en Côte d'Ivoire. De même, des charges bactériennes élevées ($2,75.10^6$ - $1,54.10^{10}$ ufc.100mL⁻¹ de coliformes fécaux, $1,69.10^4$ - $7,07.10^4$ ufc.100mL⁻¹ de streptocopes fécaux) ont été observées par [24] dans les eaux de puits à usage domestique de Kumasi au Ghana. La mauvaise qualité bactériologique des eaux de puits est en adéquation avec la pollution d'origine domestique liée au manque de salubrité, à l'absence de dispositifs d'assainissement approprié et à la mauvaise manipulation des puisettes [25]. En effet, la zone située dans les quartiers populaires (zone 4) enregistrent les plus fortes charges bactériennes des coliformes totaux (378 ± 318 ; 716 ± 604 ufc.100mL⁻¹) et fécaux (359 ± 290 ; 604 ± 553 ufc.100mL⁻¹), *E. coli* (323 ± 206 ; 529 ± 466 ufc.100mL⁻¹) et streptocoques fécaux (277 ± 203 ; 529 ± 466 ufc.100mL⁻¹). Environ, 90 % des puits de cette zone 3 sont construits dans les concessions où il n'existe que des douches et latrines traditionnelles et les puits situés à proximité des latrines (< 15 m, valeur recommandée par l'OMS [26]) représentent 36 % des puits de cette zone [27]. Les études menées par [28] ont montré que les eaux usées des fosses par infiltration atteignent les puits en Côte d'Ivoire.

Les charges bactériennes suivent les pics de précipitation. Les fortes charges de coliformes totaux, de coliformes fécaux, d'*E. coli* et de streptocoques fécaux sont observées pendant la saison des pluies. Ces charges diminuent légèrement pendant la saison sèche. Des résultats relatifs à l'augmentation des charges des coliformes fécaux et streptocoques fécaux respectives de 4,6 et 2,3 log (ufc.100 mL⁻¹) pendant la saison des pluies par rapport à la saison sèche ont été obtenus par [24] dans les eaux de puits à Kumasi au Ghana. L'augmentation de ces valeurs confirme le fait que les puits reçoivent soit directement les eaux de ruissellement, soit les eaux d'infiltration chargées de polluants issus de la minéralisation des déchets organiques. Les puits d'Agboville sont généralement munis d'une margelle, d'un cuvelage et d'un couvercle. Ces margelles construites en béton ont une hauteur moyenne de 0,51 m et des couvercles en tôle ou en bois [27]. Elles constituent en réalité un bon système de protection des puits contre le milieu extérieur, mais elles sont presque toujours ouvertes ou semi-fermés.

Tableau 2 : Comparaison des caractéristiques microbiologiques des eaux de puits d'Agboville aux valeurs guides de l'Organisation mondiale de la santé [11]

Saison	Zone (n = 50)	Coliformes totaux (ufc.100 mL ⁻¹)		Coliformes fécaux (ufc.100 mL ⁻¹)		<i>Escherichia coli</i> (ufc. 100 mL ⁻¹)		Streptocoques fécaux (ufc.100 mL ⁻¹)	
		Minimum - Maximum (Moyenne ± Ecartype)	> valeur guide OMS (10 ufc.100mL ⁻¹)	Minimum-Maximum (Moyenne ± Ecartype)	> valeur guide OMS (0 ufc.100mL ⁻¹)	Minimum-Maximum (Moyenne ± Ecartype)	>valeur guide OMS (0 ufc.100 mL ⁻¹)	Minimum-Maximum (Moyenne ± Ecartype)	>valeur guide OMS (1 ufc.100 mL ⁻¹)
Saison sèche	Zone 1 (n =12)	20 - 682 (184 ± 181)	100 %	12-592 (167± 150)	100 %	4- 410 (109 ± 84)	100 %	1-300 (92 ± 85)	91 %
	Zone 2 (n =13)	0-540 (117 ±169)	91 %	0-273 (108 ± 86)	83 %	0 - 150 (58 ± 57)	83 %	4- 800 (224 ± 154)	100 %
	Zone 3 (n =14)	0-1058 (152 ± 151)	78 %	0-530 (139 ± 122)	78 %	0-320 (88 ± 83)	71 %	1- 413 (105 ± 68)	100 %
	Zone 4 (n =11)	0-1058 (378 ± 318)	90 %	0-993 (359 ± 290)	90 %	0-855 (323 ± 206)	81 %	6- 888 (277 ± 203)	100 %
	Ensemble des zones	0-1058 (208 ± 205)	90 %	0-993 (193 ± 162)	88 %	0-855 (145 ± 107)	84 %	1 - 888 (175 ± 127)	98 %
Saison pluvieuse	Zone 1 (n =12)	170-1003 (387 ± 282)	100 %	150-814 (298 ± 216)	100 %	113-634 (240 ± 177)	100 %	10 -1167 (313 ± 295)	100 %
	Zone 2 (n =13)	0-780 (334 ± 228)	91 %	0-532 (220 ± 135)	91 %	0-498 (184 ± 124)	91 %	1- 839 (235 ± 184)	100 %
	Zone 3 (n =14)	0-789 (300 ± 241)	78 %	0-544 (219 ± 174)	78 %	0-510 (163 ± 149)	78 %	1 -786 (195 ± 147)	92 %
	Zone 4 (n =11)	90-1920 (716 ± 604)	100 %	20-1735(604 ± 553)	100 %	15-1323 (529 ± 466)	100 %	5 -760 (245 ± 193)	100 %
	Ensemble des zones	0-1920 (434 ± 338)	92 %	0-1735 (335 ± 269)	92 %	0-1323 (279 ± 229)	92 %	1 -760 (247 ± 204)	98 %
Classes de qualité		Mauvaise (88 %)		Mauvaise (92 %)		Mauvaise (92 %)		Mauvaise (92 %)	

3.2. Risque sanitaire lié aux *E. coli* pathogènes

Les caractéristiques du risque d'infection et de maladie diarrhéique liés aux *E. coli* pathogènes pendant les saisons pluvieuse et sèche chez les enfants de moins de 5 ans et les adultes sont présentées dans les tableaux 3, 4 et 5. Pendant ces saisons, les charges des *E. coli* pathogènes auxquelles la population peut être exposée dans les ménages sont respectivement de 2,26 et 2,18 log (ufc.L⁻¹) pour l'ensemble des puits. Pour une exposition des enfants de moins de 5 ans et des adultes à ces charges bactériennes, les valeurs du risque d'infection annuel ($P_{inf, A}$) respectives de $9,4 \cdot 10^{-1}$ (enfants de moins de 3 ans), $7,9 \cdot 10^{-1}$ et $8,1 \cdot 10^{-1}$ (enfants de 3 à 5 ans) et $9,3 \cdot 10^{-1}$ (adulte) ont été obtenues et sont supérieures à 10^{-4} , valeur acceptable du risque d'infection annuel de l'OMS [11] pour les eaux de la zone d'étude. Ces résultats sont en accord avec ceux de [23] qui ont observés un risque d'infection annuel élevé lié à *E. coli* pour la consommation des eaux de puits de Korhogo en Côte d'Ivoire.

Tableau 3 : Caractérisation du risque lié aux *E. coli* pathogènes des eaux de ménage au niveau des adultes

Zone	Scénario	$C_{E. coli \text{ pathogènes}}$ log (ufc. L ⁻¹)	$P_{inf, j}$	$P_{inf, A}$	P_{ill}	P_{illp}
Zone 1	Saison sèche	2,25	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$9,9 \cdot 10^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
	Saison pluvieuse	2,23	$4,6 \cdot 10^{-2}$	$9,9 \cdot 10^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Zone 2	Saison sèche	2,12	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$8,2 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
	Saison pluvieuse	2,23	$4,6 \cdot 10^{-2}$	$8,2 \cdot 10^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Zone 3	Saison sèche s	2,16	$4,4 \cdot 10^{-2}$	$9,1 \cdot 10^{-1}$	$7,3 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$
	Saison pluvieuse	2,15	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$9,1 \cdot 10^{-1}$	$7,3 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$
Zone 4	Saison sèche	2,21	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$8,9 \cdot 10^{-1}$	$7,1 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$
	Saison pluvieuse	2,44	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$0,1 \cdot 10^2$	$8 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$
Ensemble des zones	Saison sèche	2,18	$4,4 \cdot 10^{-2}$	$9,3 \cdot 10^{-1}$	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$3,3 \cdot 10^{-1}$
	Saison pluvieuse	2,26	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$9,3 \cdot 10^{-1}$	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$3,3 \cdot 10^{-1}$

$C_{E. coli \text{ pathogènes}}$: concentration moyenne des *E. Coli pathogènes* ; d : dose moyenne journalière ;
 P_{inf} : Risque d'infection par jour ; $P_{inf, A}$: Risque d'infection annuel; P_{ill} : Risque de maladie diarrhéique par an ; P_{illp} : Risque de maladie diarrhéique par rapport à la population exposée.

Tableau 4: Caractérisation du risque lié aux *E. coli* pathogènes des eaux de ménage au niveau des enfants de moins de 5 ans pendant la saison pluvieuse

Zone	Scénario	$C_{E. coli \text{ pathogènes}}$ log (ufc. L ⁻¹)	$P_{inf,j}$	$P_{inf, A}$	P_{ill}	P_{illp}
Zone 1	Enfant de moins de 1an	2,25	12,6. 10 ⁻¹	1	8.10 ⁻¹	1.10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,25	8.10 ⁻²	1	8. 10 ⁻¹	1,04.10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,25	5. 10 ⁻³	8,6 10 ⁻¹	6,8. 10 ⁻¹	0,8. 10 ⁻¹
Zone 2	Enfant de moins de 1an	2,12	10,7.10 ⁻¹	8,3.10 ⁻¹	6,6. 10 ⁻¹	1. 10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,12	7 .10 ⁻²	8,3.10 ⁻¹	6,6.10 ⁻¹	1. 10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,12	5 .10 ⁻³	6,9 .10 ⁻¹	5,5.10 ⁻¹	0,8. 10 ⁻¹
Zone 3	Enfant de moins de 1 an	2,16	10,7.10 ⁻¹	9, 2.10 ⁻¹	7,3.10 ⁻¹	2,9. 10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,16	7. 10 ⁻²	9,2 .10 ⁻¹	7,3.10 ⁻¹	2,9. 10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,16	5. 10 ⁻³	7,7. 10 ⁻¹	6,1.10 ⁻¹	2,4. 10 ⁻¹
Zone 4	Enfant de moins de 1 an	2,21	25,6. 10 ⁻¹	21,6.10 ⁻¹	17,3.10 ⁻¹	53,6.10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,21	1.10 ⁻¹	1	8. 10 ⁻¹	2,4. 10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,21	6.10 ⁻³	9.10 ⁻¹	7,2. 10 ⁻¹	2,2. 10 ⁻¹
Ensemble des zones	Enfant de moins de 1 an	2,26	11,2.10 ⁻¹	9,4.10 ⁻¹	7, 5. 10 ⁻¹	3,3. 10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,26	8.10 ⁻²	9,4. 10 ⁻¹	7,5. 10 ⁻¹	3,3. 10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,26	5. 10 ⁻³	7,9 .10 ⁻¹	6, 3.10 ⁻¹	2,8.10 ⁻¹

$C_{E. coli \text{ pathogènes}}$: concentration moyenne des *E. Coli pathogènes* ; d : dose moyenne journalière ; P_{inf} : Risque d'infection par jour ; $P_{inf, A}$: Risque d'infection annuel; P_{ill} : Risque de maladie diarrhéique par an ; P_{illp} : Risque de maladie diarrhéique par rapport à la population exposée.

Tableau 5 : Caractérisation du risque lié aux *E. coli* pathogènes des eaux de ménage au niveau des enfants de moins de 5 ans pendant la saison sèche

Zone	Scénario	C <i>E. coli</i> pathogènes log (ufc. L ⁻¹)	P _{inf,j}	P _{inf, A}	P _{ill}	P _{illp}
Zone 1	Enfant de moins de 1an	2,25	13,5. 10 ⁻¹	0,1.10 ⁻¹	8.10 ⁻¹	1.10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,25	8.10 ⁻²	0,1. 10 ⁻¹	8. 10 ⁻¹	1,04. 10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,25	5 .10 ⁻³	8, 6 .10 ⁻¹	6,9. 10 ⁻¹	0,9 10 ⁻¹
Zone 2	Enfant de moins de 1an	2,12	12,9. 10 ⁻¹	8,3.10 ⁻¹	6,6. 10 ⁻¹	1. 10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,12	8.10 ⁻²	8,3.10 ⁻¹	6,6. 10 ⁻¹	1. 10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,12	5. 10 ⁻³	7,1.10 ⁻¹	5,7.10 ⁻¹	0,9.10 ⁻¹
Zone 3	Enfant de moins de 1 an	2,16	10,7.10 ⁻¹	9, 2.10 ⁻¹	7,3.10 ⁻¹	2,9. 10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,16	7. 10 ⁻²	9,2 .10 ⁻¹	7,3.10 ⁻¹	2,9. 10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,16	5 .10 ⁻³	7,7. 10 ⁻¹	6,1.10 ⁻¹	2,4. 10 ⁻¹
Zone 4	Enfant de moins de 1 an	2,21	12,1.10 ⁻¹	1	8.10 ⁻¹	2,48.10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,21	8.10 ⁻²	1	8. 10 ⁻¹	2,4. 10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,21	5. 10 ⁻³	8,5.10 ⁻¹	6,8. 10 ⁻¹	2,1. 10 ⁻¹
Ensemble des zones	Enfant de moins de 1 an	2,18	13,6. 10 ⁻¹	9,4.10 ⁻¹	7, 5. 10 ⁻¹	3,3. 10 ⁻¹
	Enfant de 1 à 3 ans	2,18	8.10 ⁻²	9,4. 10 ⁻¹	7,5. 10 ⁻¹	3,3. 10 ⁻¹
	Enfant de 3 à 5 ans	2,18	5. 10 ⁻³	8,1.10 ⁻¹	6,5.10 ⁻¹	2,9.10 ⁻¹

C *E. coli* pathogènes : concentration moyenne des *E. Coli pathogènes* ; d : dose moyenne journalière ; P_{inf} : Risque d'infection par jour ; P_{inf, A} : Risque d'infection annuel; P_{ill} : Risque de maladie diarrhéique par an ; P_{illp} : Risque de maladie diarrhéique par rapport à la population exposée.

Les risques pour un consommateur d'eau de puits stockée dans les ménages de contracter une diarrhéique infectieuse (P_{ill}) (enfants de moins de 3 ans : P_{ill} = 7,5.10⁻¹ ; enfants de 3 à 3 ans : P_{ill} = 6,3.10⁻¹ et 6,5.10⁻¹ ; adulte : P_{ill} 7,5.10⁻¹) sont également supérieures à cette valeur limite de risque défini par l'OMS. Au sein de la population exposée (ménages conservant l'eau de puits avant la boisson), les valeurs du risque annuel de maladie diarrhéique (P_{illp}) (enfants de moins de 3 ans : P_{illp} = 3,3.10⁻¹ ; enfants de 3 à 5 ans : P_{illp}= 2,8.10⁻¹ et 2,9.10⁻¹ ; adulte : P_{illp} 3,3.10⁻¹) sont également élevées. Une valeur similaire élevée du risque de maladies diarrhéiques (3,1.10⁻¹ par an et par personne) dû aux entérotopathogènes *E. coli*, au *Cryptosporidium* et au *Giardia* a également

été obtenue par [17] pour les eaux de puits de la valley de Kathmandu au Nepal. Toutefois, ces valeurs de risque restent élevées pour les enfants de moins de 3 ans exposés à ces eaux de puits. Par ailleurs, les valeurs de risque obtenues varient très peu d'une saison à une autre. Les valeurs de risque obtenues à Agboville indiquent la détérioration de la qualité des eaux de puits et un risque élevé de santé publique lié à la consommation de ces eaux.

Conclusion

L'analyse microbiologique des eaux de puits a montré que les eaux présentent une mauvaise qualité bactériologique pendant les saisons sèche et pluvieuse. Toutefois, les fortes charges bactériennes sont enregistrées dans les zones à forte densité de population et pendant la grande des pluies. La consommation de ces eaux de puits présente à court terme, un risque d'infection diarrhéique très élevé lié aux *E. coli* pathogènes pour les enfants de moins de 5 ans et les adultes au cours des deux saisons. Néanmoins, ce risque reste élevé pour les enfants de moins de 3 ans exposés à ces eaux de puits.

Référence

1. OMS, UNICEF, Progrès en matière d'alimentation en eau et d'assainissement : rapport 2017. ISBN 978-92-4-251289-2 **Classification NLM: WA 670** (2017) 116.
2. Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique (MSHP), **Plan national de développement sanitaire 2016 - 2020** (2017) 88.
3. Institut National de la Statistique (INS), Recensement général de la population et de l'habitat de Côte d'Ivoire (RGPH), données socio-démographiques et économique des localités, résultats définitifs par localités, région de l'agney. **Institut national de la statistique** (1998) 32.
4. Institut National de la Statistique (INS), Résultats globaux par Sous-Préfecture du recensement général de la population et de l'habitat de Côte d'Ivoire. Institut national de la statistique, secrétariat technique permanent, (2014) 22.
5. Institut National de la Statistique (INS), Enquête sur le niveau de vie des ménages en Côte d'Ivoire (ENV). Institut national de la statistique, secrétariat technique permanent, (2015), 91.
6. D.L. Gone, J.L. Seidelb, C. Batiot, B. Kamagate, R. Ligban, J. Biemic, Using fluorescence spectroscopy EEM to evaluate the efficiency of organic matter removal during coagulation-flocculation of a tropical surface water (Agbo reservoir), **J. Hazard Mater.**, 172 (2009) 693 - 699.
7. R. K. Orou, K. J. Coulibaly, A. G. Tanoh, K.E. Ahoussi, K. P. E. Kissiedou, D. T. Soro, N. Soro, Qualité et vulnérabilité des eaux d'aquifère d'altérites dans les sous-préfectures de Grand-Morié et d'Azaguié dans le département d'Agboville au sud-est de la Côte d'Ivoire, **Rev. Ivoir. Sci. Technol.**, 28 (2016) 243 - 272.

8. M.S. Donnenberg, Enterobacteriaceae. In Principles and Practice of Infectious Diseases, Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, Mandell, Douglas, Bennett's (eds). Elsevier Churchill Livingstone, 2: Philadelphia, (2005) 2567-2586.
9. B. Demers, P. Sansonetti, Mécanisme moléculaire des diarrhées bactériennes. **Med. Thérapeut. Pédiat.** 1(1) (1998) 14-24.
10. J.B Kaper, J.P Nataro, H.L.T. Mobley, **Pathogenic Escherichia coli.** **Nat. Rev.** 2 (2004) 123-140.
11. OMS, Directives de qualité pour l'eau de boisson: 4^e éd. intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum]. **Genève: Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO** (2017) 539.
12. Ministère des Infrastructures Economiques (MIE), Rapport final du projet de renforcement de l'alimentation en eau potable en milieu urbain **PREMU** (2016) 136.
13. K.E. Ahoussi, Y.B. Koffi, A.M Kouassi., G. Soro, J. Biemi, Fonctionnement hydrodynamique des aquifères discontinus de la région d'Abidjan-Agboville (sud de la Côte d'Ivoire), **Int. J. Geogra. Geolo.** 2 (5) (2013) 52 - 69.
14. C.N. Haas, J.B. Rose, C.P. Gerba, Quantitative Microbial Risk Assessment, John Wiley and Sons, **Inc., New York, USA.** (1999) 449.
15. P. Rappelli, E. Folgosa, M.L.Solinas, J.L. Dacosta, C. Pisanu, M .Sidat, J. Melo, P. Cappuccinelli, M.M. Colombo, Pathogenic enteric *Escherichia coli* in children with and without diarrhoea in Maputo , Mozambique, FEMS. **Immunol. Med. Microbiol.**, 43(1) (2005) 67-72.
16. R. I. Yapo, B. Koné, B. Bonfoh, G. Cissé, J. Zinsstag, H. Nguyen-Viet, Quantitative microbial risk assessment related to urban wastewater and lagoon water reuse in Abidjan, Côte d'Ivoire, **J. Water Health.** 12 (2) (2014) 301 - 309.
17. S. Shrestha, E. Haramoto, R. Malla, K. Nishida, Risk of diarrhoea from shallow groundwater contaminated with enteropathogens in the Kathmandu Valley, Nepal. **J. Water Health.** 13 (1) (2015) 259 – 269.
18. M. M. Levine, *Escherichia coli* that cause diaeehea: enterotoxigenic, enteropathogenic, enterovisie, enterohemorrhagic and enteroadherent, **J. Infect. Dis.**, 155 (1987) 377 - 389.
19. X. Su, H. Wang, Y. Zhang, Health Risk Assessment of Nitrate Contamination in Groundwater: A Case Study of an Agricultural Area in Northeast China, **Water Resour. Manage.** 27 (2013) 3025 - 3034. DOI 10.1007/s11269-013-0330-3.
20. P. F. Teunis, I. D. Ogden, N. J. Strachan, Hierarchical dose response of E. coli O157:H7 from human outbreaks incorporating heterogeneity in exposure, **Epidemiol. Infect.** 136 (2008) 761-770.

21. K. Thomas, E. McBean, A. Shantz, H. M. Murphy, Comparing the microbial risks associated with household drinking water supplies used in peri-urban communities of Phnom Penh, Cambodia, **J. Water Health**, 13 (1) (2015) 243 - 258.
22. F. Qadri, A. Svennerholm, A.S.G. Faruque, R.B.Sack, Enterotoxigenic *Escherichia coli* in developing countries: Epidemiology, microbiology, clinical features, treatment, and prevention, **Clin. Microbiol. Rev.**, 18 (3) (2005) 465- 483.
23. M.R. Kouassi, R. Koné, Y.E. Kouakou, B. Silué, G. Cissé, N. Soro, Approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risque sanitaire associés à Korhogo (Nord -Côte d'Ivoire), **Environ. Risque Santé**, 14 (2015) 230-241. do : 10.1684/ers.2015.0781.
24. M. Akple, B. Keraita, F.E. Konradsen, D. Agbenowu, Microbiological quality of water from hand-dug wells used for domestic purposes in urban communities in Kumasi, Ghana, **Urban Water J.**, 8 (1) (2011) 57 - 64.
25. Y. Gelina, H. Randall, L. Roubidoux, J. P. Schmit, Well water survey in two districts of Conakry (Republic of Guinea), and comparison with the piped city water, **Water Res.**, 30 (1996) 2017 - 2026.
26. OMS, Guidelines to Drinking-water Quality (fourth edition). ISBN 978 92 4 154815 1 **NLM classification: WA 675**, (2011) 564.
27. A. N. B. Kouadio, K. M. Yeo, K. N. Aboua, D .L. Gone, Demande en chlore et paramètres déterminant la consommation du chlore des eaux de puits traditionnels d'Agboville (Côte d'Ivoire). **EWASH. TI. J.**, 1(4) (2017) 23-33.
28. Y.M.S. Oga, E. Sacchie, G.M. Zuppi, Origin and effects of nitrogen pollution in groundwater traced by $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3$ and $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3$: case of Abidjan (Ivory Coast). Advances in isotope hydrology and its role in sustainable water resources management (HIS-2007) **Proceeding of a symposium Vienna**, 1(2007)139-147.

