



L'essentiel de l'information
scientifique et médicale

www.jle.com

Le sommaire de ce numéro

http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/sante_pub/ers/sommaire.md?type=text.html

Environnement & Risques Santé ERS

Volume 14 – numéro 3 • mai-juin 2015



Montrouge, le 27/06/2015

Richard M'bra Kouassi

Vous trouverez ci-après le tiré à part de votre article au format électronique (pdf) :
Approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risques sanitaires associés à Korhogo (Nord-Côte d'Ivoire)

paru dans

Environnement, Risques & Santé, 2015, Volume 14, Numéro 3

John Libbey Eurotext

Ce tiré à part numérique vous est délivré pour votre propre usage et ne peut être transmis à des tiers qu'à des fins de recherches personnelles ou scientifiques. En aucun cas, il ne doit faire l'objet d'une distribution ou d'une utilisation promotionnelle, commerciale ou publicitaire.

Tous droits de reproduction, d'adaptation, de traduction et de diffusion réservés pour tous pays.

© John Libbey Eurotext, 2015



environnement risque sant



1 - 1 of 1

Environnement, Risques et Sante

France

Editions John Libbey Eurotext

1 - 1 of 1

Developed by:



Powered by:



Follow us on Twitter

Scimago Lab, Copyright 2007-2016. Data Source: Scopus®

EST MODUS IN REBUS

Horatio (Satire 1,1,106)

Approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risques sanitaires associés à Korhogo (Nord-Côte d'Ivoire)

RICHARD M'BRA KOUASSI^{1,2}
BRAMA KONÉ^{1,3}
ÉTIENNE KOUAKOU YAO^{1,4}
BÉTIO SILUÉ^{1,4}
GUÉLADIO CISSÉ⁵
NAGNIN SORO²

¹ Centre suisse de recherches scientifiques en Côte d'Ivoire
Km 17 route de Dabou
Adiopodoumé
Yopougon
01 BP 1303
Abidjan
Côte d'Ivoire
<mbrafresco@yahoo.fr>
<bramakone@gmail.com>
<kyaoetienne@yahoo.fr>
<betiosil@yahoo.fr>

² Université Félix Houphouët Boigny
01 BP 1303
Abidjan 01
Côte d'Ivoire
<soro_nagnin@yahoo.fr>

³ Université Péléforo Gon Coulibaly
Korhogo
01 BP 1303
Abidjan 01
Côte d'Ivoire

⁴ Université Nangui Abrogoua
01 BP 1303
Abidjan 01
Côte d'Ivoire

⁵ Institut tropical et de santé publique suisse
Université de Bale
Socinstrasse 57
Postfach
CH-4002 Bale
<gueladio.cisse@unibas.ch>

Tirés à part :
R. M'bra Kouassi

Article reçu le 6 juin 2014,
accepté le 23 janvier 2015

Résumé. L'accès à l'eau potable et à un cadre de vie sain dans les pays en développement est un grand défi et cette situation a été accentuée dans la ville de Korhogo (Côte d'Ivoire) par une forte variabilité climatique au cours de la décennie 2000-2010. Les objectifs de cette étude sont de (i) caractériser les différents modes d'accès à l'eau dans la ville de Korhogo, (ii) déterminer les facteurs environnementaux et socio-sanitaires qui affectent la disponibilité et la qualité de l'eau et (iii) évaluer les risques sanitaires associés à l'utilisation de ces eaux. Deux enquêtes transversales par questionnaires couplées à deux enquêtes géographiques ont été conduites en 2010 auprès de 600 ménages, respectivement en saison sèche et pluvieuse. Une enquête sanitaire et des analyses d'échantillons d'eau de puits et de barrage ont été réalisées. L'analyse quantitative des risques microbiens (QMRA) a été utilisée pour quantifier le risque sanitaire associé à *Escherichia coli* et *Giardia lamblia*. Les résultats indiquent qu'à Korhogo, les eaux usées stagnantes et les dépôts sauvages d'ordures ménagères constituent des facteurs de risques potentiels de contamination des eaux de puits, qui représentent la principale source d'alimentation en eau potable des ménages (respectivement 60 % et 65 % en saison pluvieuse et sèche). La QMRA montre qu'il existe un risque d'infection lié à *E. coli* aussi bien pour les eaux de puits que pour les eaux de barrage. Le nombre probable de sujets infectés par an est de 2 002, 1 280, 59 et 24 respectivement pour la consommation d'eau de puits, le maraîchage, la pêche et la baignade. Les résultats de cette étude peuvent permettre de guider la mise en place de stratégies intégrées d'atténuation des risques sanitaires liés au déficit d'approvisionnement en eau potable et d'hygiène à Korhogo, risques qui pourraient s'aggraver avec les changements climatiques observés.

Mots clés : approvisionnement en eau ; évaluation des risques ; variation saisonnière ; *Escherichia coli* ; Korhogo

Abstract

Water supply, quality of resource and associated health risks in Korhogo (Northern Côte d'Ivoire)

Access to safe water supply and sanitation in developing countries is challenging and this situation was aggravated in the city of Korhogo (Nord Côte d'Ivoire) due to huge climate variability during the decade 2000-2010. The objectives of the study are to : (i) characterize water access in Korhogo, (ii) determine the environmental and socio-sanitary factors which affect water's quality and availability, (iii) assess health risks associated to waters use. Two household surveys by questionnaire and two geographical surveys were conducted in 2010 in 600 households respectively during dry and rainy seasons. A health surveys and laboratory analyzes of water samples from wells and dam were performed. The quantitative microbial risk assessment (QMRA) was used to quantify the health risks associated with *Escherichia coli* and *Giardia lamblia*. It appears from this study that the stagnant wastewater and solid wastes are the potential risk factors for well-water pollution.

Pour citer cet article : Mbra Kouassi R, Koné B, Kouakou Yao É, Silué B, Cissé G, Soro N. Approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risques sanitaires associés à Korhogo (Nord-Côte d'Ivoire). *Environ Risque Sante* 2015 ; 14 : 230-241. doi : 10.1684/ers.2015.0781

doi: 10.1684/ers.2015.0781

Wells water is the main source of household's water supply in the city during the rainy season (60 %) and the dry season (65 %). The QMRA shows that there is a risk of E. coli infection due to wells and dam water. Annual probable infected cases are 2'002 ; 1'280 ; 59 ; and 24 persons respectively due to well-water consumption, gardening around the dam, fishing and swimming in the dam water. The results of this study are useful for the implementation of an integrated mitigation strategy of health risks due to water supply and hygiene deficiency that may increase with climate changes in the city of Korhogo.

Key words: water supply; risk assessment; seasonal variation; Escherichia coli; Korhogo.

L'Objectif du millénaire pour le développement (OMD) lié à l'eau et à l'assainissement fixé par les Nations Unies est de réduire de moitié, d'ici fin 2015, la proportion de personnes n'ayant pas durablement accès à l'eau potable et à des installations sanitaires de base [1]. Jusqu'à ce jour, le monde en général, et l'Afrique subsaharienne en particulier, sont en passe d'atteindre cet objectif [2]. Cependant, 884 millions de personnes boivent encore de l'eau provenant de sources non potables et 2,5 milliards de personnes ne bénéficient pas d'installations d'assainissement appropriées [1]. Le déficit d'approvisionnement en eau potable, d'hygiène et d'assainissement est à la base de nombreuses maladies, dont la diarrhée qui est contractée par 2,4 milliards de personnes par an dans le monde occasionnant, selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), plus de 2,6 millions de décès annuels [3]. Par ailleurs, le taux d'accroissement démographique est très élevé en Afrique [4]. La population de l'Afrique de l'Ouest, par exemple, est passée de 64 à 240 millions d'habitants de 1950 à 2000, et les démographes estiment que cette population atteindra 617 millions d'habitants en 2050 [5]. Pour satisfaire les besoins de toutes les populations, une forte pression est mise sur les ressources en eau disponibles, le plus souvent pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation, la production d'énergie, l'élevage, la pêche, le tourisme et la navigation [6]. Cependant, des disparités et iniquités existent entre zones urbaines et rurales et entre régions pauvres et riches [7].

En Côte d'Ivoire, la proportion de ménages ayant accès à l'eau potable est passée de 46 % en 1998 à 51,2 % en 2002, puis à 61 % en 2008, soit un accroissement d'environ 10 points sur une décennie [8]. La variation du climat occupe souvent une place de choix dans la question d'accès à l'eau potable dans plusieurs localités d'Afrique de l'Ouest [9]. La ville de Korhogo, au nord de la Côte d'Ivoire, a subi au cours de la dernière décennie les affres du climat, avec notamment en 2004 une forte sécheresse ayant entraîné le tarissement du barrage d'approvisionnement en eau potable en 2005, affectant près de 200 000 personnes. Selon les Nations Unies, cette même localité a également connu subitement, depuis 2006, des pluies diluviennes suivies d'inondations en 2007,

faisant de nombreux dégâts matériels et humains [10]. Il apparaît donc que dans ces conditions de changements majeurs, les ressources en eaux sont menacées tant en quantité qu'en qualité. Les populations sont le plus souvent confrontées, soit à un problème de disponibilité de l'eau, soit à la mauvaise qualité de celle-ci.

La présente étude vise à caractériser les différents modes d'accès à l'eau à Korhogo, les facteurs environnementaux et sociosanitaires qui affectent sa qualité et sa quantité, de même que certains risques sanitaires associés à l'utilisation ou la consommation de ces eaux.

Méthodologie

Site d'étude

La ville de Korhogo est située au nord de la Côte d'Ivoire. Elle a une superficie d'environ 12 500 km² et une population estimée à 174 000 habitants. Elle appartient au système climatique tropical sec de type soudano-sahélien (moyenne annuelle de précipitation autour de 1 200 mm ; taux d'humidité entre 40 et 50 % ; température annuelle moyenne de 27 °C [11]). Au cours de la Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement (DIEPA), la ville a bénéficié de la construction d'un barrage, en 1981, d'une capacité de rétention d'environ 10⁷ m³ d'eau, destinée à assurer son alimentation en eau potable (figure 1). Des activités économiques (cultures maraîchères, pêche, etc.) et récréatives (baignade) ont été développées autour de ce barrage. Le barrage a été connecté au fleuve Bandama, afin de permettre à la Société de distribution d'eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) de desservir sans interruption la population en eau potable en période sèche.

Collecte de données

Dans le cadre de cette étude, la ville de Korhogo a été subdivisée en trois strates spatiales ou zones, dont une zone 1 de bas standing, une zone 2 de moyen standing et

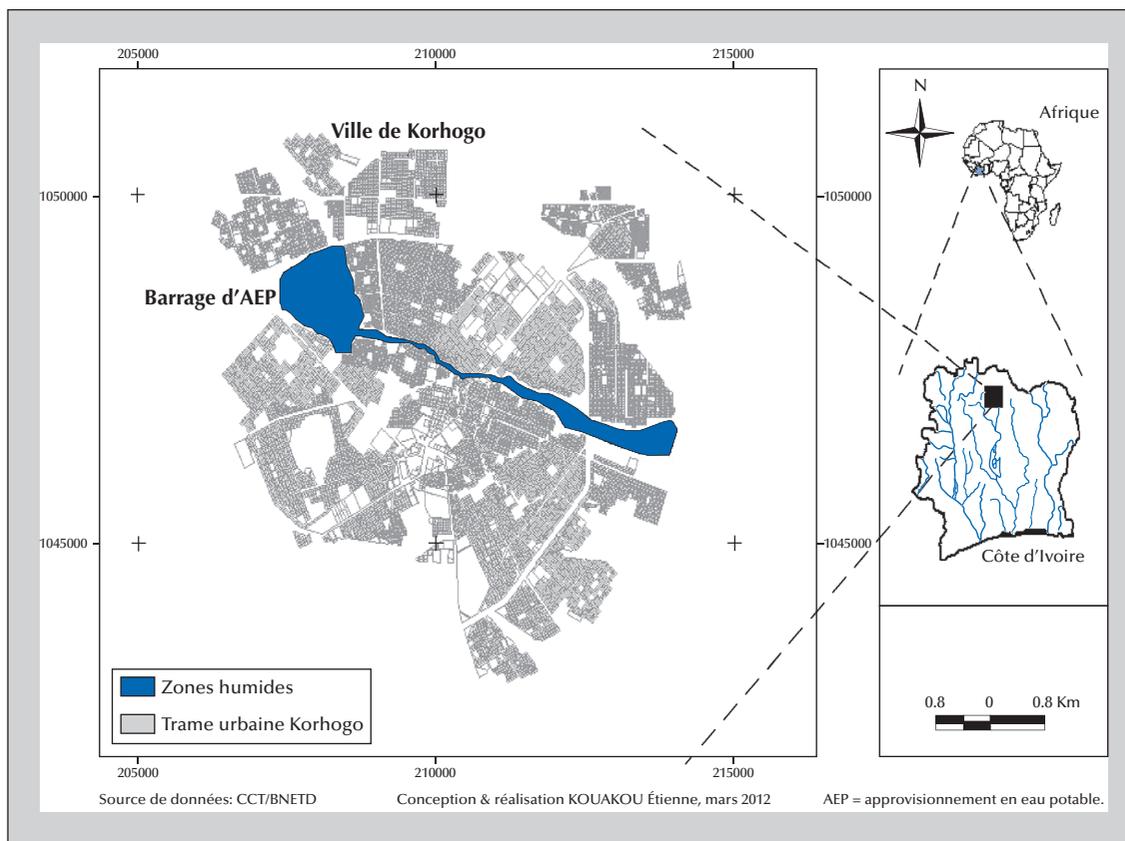


Figure 1. Zone d'étude.

Figure 1. Study area.

une zone 3 de haut standing ou résidentielle. La zone de bas standing est constituée de quartiers spontanés, sans un tracé cohérent de voiries internes. Les maisons sont bâties en terre ou en bois et les lots sont interconnectés les uns aux autres sans clôture de délimitation. Les eaux usées domestiques (douches, vaisselles) sont évacuées dans des puisards ou rejetées directement dans les espaces entre les concessions. Les lieux de défécations sont généralement des toilettes sèches à fosse unique non ventilées. La zone de moyen standing se caractérise par une bonne délimitation des voies et des lots, et un bâti en dur de type 2 ou 3 pièces délimitées ou non par des clôtures. La zone de haut standing est une zone d'habitats réguliers, bénéficiant de voiries de circulation bien délimitées, dont les principales sont bitumées, et possédant des caniveaux de collecte et de drainage des eaux pluviales. Les eaux usées domestiques et les fèces sont collectées dans les fosses septiques bien aménagées. Les maisons sont de types villa, bâties en dur de 3, 4 ou davantage de pièces, avec garage, et sont délimitées par des clôtures.

Une approche socioanthropologique couplée à des analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux de puits et du barrage, une approche cartographique et une approche quantitative des risques microbiens (QMRA) ont été utilisées.

L'approche socioanthropologique consiste en deux enquêtes ménages transversales par questionnaire qui ont été conduites auprès de 600 ménages en saison sèche (février 2010) et en saison des pluies (août 2010). Les enquêtes avaient pour objectifs d'évaluer les principaux problèmes de santé des populations au cours de chaque saison, ainsi que leurs facteurs environnementaux et sociosanitaires de risque. Elles ont permis d'identifier les sources d'approvisionnement en eau et les modes d'évacuation des déchets des ménages.

La taille (n) d'échantillon de ménage a été obtenue par la formule [12], [13] $n = \frac{\delta^2 \cdot p \cdot (1-p) \cdot c}{i^2}$ où :

- δ = écart-réduit correspondant au risque α consenti ;
- p = prévalence estimée du problème de santé ou du phénomène étudié ;

- i = marge d'erreur d'échantillonnage tolérée ;
- c = facteur de correction.

Le paludisme et les maladies diarrhéiques sont connus pour être les principaux problèmes de santé liés à l'environnement à Korhogo [14]. Ne disposant pas de données fiables sur la prévalence des maladies au sein de la population, nous avons considéré une prévalence maximum p de 50 % pour le paludisme, qui est la plus prévalente des deux maladies, et l'avons utilisé pour le calcul de l'échantillon.

En considérant un risque α de 5 % ($\delta = 1,96$), une marge d'erreur d'échantillonnage i de 5 % et un facteur de correction c de 1,5, la taille n de l'échantillon est de 577 ménages. Ce chiffre a été arrondi à 600 ménages, uniformément répartis dans la ville à raison de 200 ménages par strate spatiale (zone).

La démarche cartographique est basée sur deux enquêtes géographiques réalisées en saison sèche et en saison des pluies aux mêmes dates que les enquêtes ménages. Elle a permis de localiser au GPS (*Global Positioning System*) et de décrire les grands tas d'ordures ménagères regroupés aux abords des routes ou sur des lieux vagues, non ramassés et transportés à la décharge, de même que les eaux usées stagnantes provenant du déversement des eaux domestiques dans les rues, ruelles

ou lieux vagues ou de la stagnation des eaux de pluies. Les analyses d'eaux au laboratoire ont été faites en saison des pluies (juin 2011) et ont concerné les eaux de puits consommées dans les ménages et les eaux du barrage. Trente échantillons d'eau de puits répartis dans toute la ville et 20 échantillons d'eau de barrage ont été prélevés et analysés (*figure 2*).

Quatre paramètres physiques (température, pH, conductivité et oxygène dissout) ont été mesurés dans les eaux de puits et de barrage. Trois composés azotés (nitrate, nitrite et ammonium), facteurs de risque pour la santé humaine [15], et les orthophosphates, indicateurs de pollution accidentelle [16], ont été mesurés dans les eaux de puits. Dans les eaux de barrage, l'azote totale Kjeldhal (NTK), la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène pour 5 jours (DBO_5) ont été mesurés en plus des paramètres indiqués pour les eaux de puits. *Escherichia coli*, indicateur de la contamination fécale et *Giardia lamblia*, responsable de parasitose intestinale humaine, ayant tous les deux déjà fait l'objet de nombreuses études antérieures sur l'évaluation des risques microbiens [17], sont les deux micro-organismes choisis pour cette étude. Leurs concentrations ont été évaluées pour toutes les eaux. Les méthodes d'analyse des différents paramètres sont synthétisées dans le *tableau 1*.

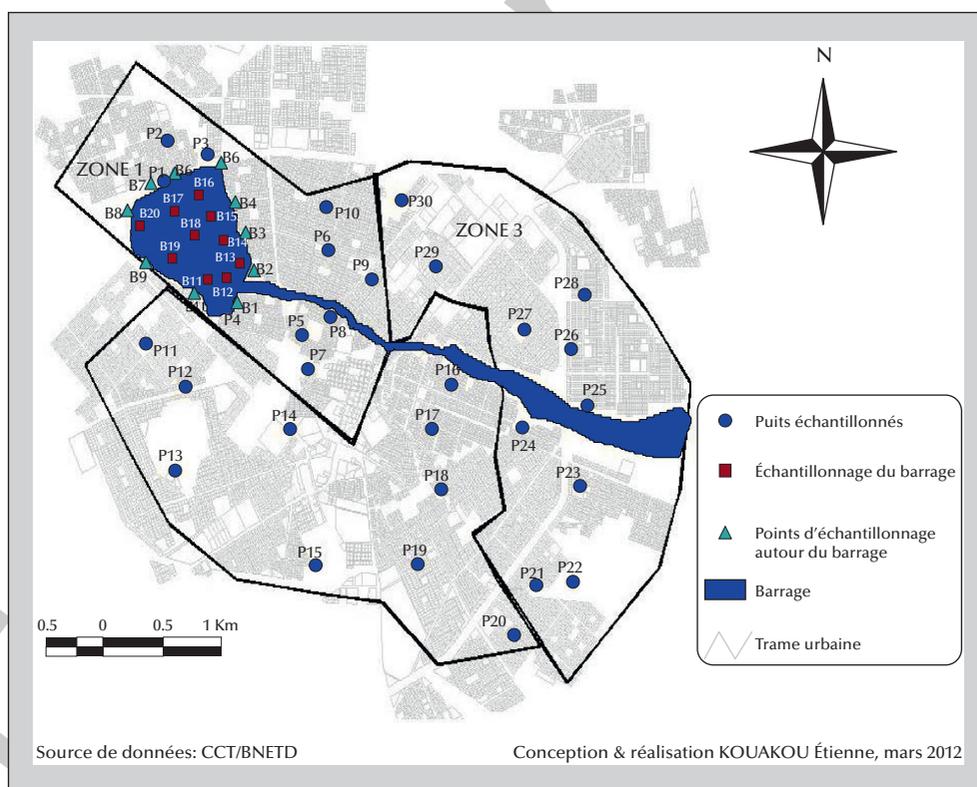


Figure 2. Points d'échantillonnages des eaux (campagne d'analyse des eaux, juin 2011).

Figure 2. Waters sample points (water analysis campaign, june 2011).

Tableau 1. Méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des puits et du barrage d'approvisionnement en eau potable (AEP) de Korhogo (juin 2011).

Table 1. Methods of analysis of physico-chemical and microbiological parameters of drinking waters' wells and dam of Korhogo (June 2011).

Paramètres	Méthode d'analyse ([16, 18, 19])	Détails sur les méthodes	Normes utilisées
T° et pH	Électrochimique à l'électrode de verre	Mesure <i>in situ</i> à l'aide du multiparamètre WTW Multi 340i dans un volume de 250 à 300 ml d'eau.	Méthode normative (NF T90-008)
Conductivité électrique (C)	Électrochimique à la sonde	Mesure <i>in situ</i> à l'aide du multiparamètre WTW Multi 340i dans un volume de 250 à 300 ml d'eau.	Méthode normative (NF EN 27888)
Oxygène dissous	Électrochimique à la sonde à oxygène	Mesure <i>in situ</i> à l'aide du multiparamètre WTW Multi 340i dans un volume de 250 à 300 ml d'eau.	Méthode normative (NF EN 25815)
Nitrite	Méthode de diazotation	Ajout de Nitriver® 3 à 10 ml d'échantillon et lecture directe au Spectrophotomètre HACH/DR2400. Méthode utilisée pour des concentrations de nitrite allant de 0,002 à 0,3 mg/L.	Méthode standardisée (8507 HACH)
Nitrate	Méthode de réduction au cadmium	Ajout de Nitriver® 5 à 10 ml d'échantillon et lecture directe au spectrophotomètre HACH/DR2400. Méthode utilisée pour les concentrations de nitrate variant de 0,3 mg/L à 30 mg/L.	Méthode standardisée (8039 HACH DR/ 2400 st)
Ammonium	Méthode au salicylate	Dosage de l'azote ammoniacal (N-NH ₄) à des concentrations allant de 0,01 mg/L à 0,5 mg/L. Ajout de salicylate d'ammonium et de cyanurate d'ammonium à 10 ml d'échantillon et lecture au spectrophotomètre HACH/DR 2400.	Méthode standardisée, spectrophotométrique (8155 HACH DR/ 2400)
Orthophosphates	Méthode au Phosver® 3	Dosage de 5 ml d'échantillon à l'aide d'un spectrophotomètre HACH/DR2400 après ajout de Phosver® 3. Méthode utilisée pour des concentrations en orthophosphates allant de 0,06 à 5 mg/L.	Méthode standardisée (8048 HACH DR/ 2400)
NTK	Méthode après minéralisation au sélénium	Minéralisation de 50 ml d'échantillon et dosage par titrimétrie après distillation.	Méthode normative (ISO 5663 -1984 (F))
DBO ₅	Méthode instrumentale au BodTrat™	Mesure, à partir de 140 ml d'échantillon, en continue de la DBO à l'aide d'un appareil BODTrack.	Méthode normative
DCO	Méthode titrimétrique au dichromate de potassium	Oxydation par un excès de dichromate en milieu acide, à partir de 10 ml d'échantillon, suivi d'un dosage de l'excès de dichromate par le sulfate mixte de fer et d'ammonium.	Méthode normative (NF T 90-101)
<i>Escherichia coli</i>	Méthode par étalement en surface sur milieu gélosé	Filtration de 100 ml d'échantillon d'eau sur une membrane millipore et dépôt de la membrane sur la Gélose RAPID'E.COLI 2 coulée en boîte de pétri. Ces boîtes sont incubées à 37 °C ou à 44°C pour le dénombrement de <i>E. coli</i> et de coliformes totaux ou pour le dénombrement de <i>E. coli</i> et des coliformes thermotolérants.	Méthode normative
<i>Giardia lamblia</i>	Méthode de concentration au sodium acétate acide-formaline (SAF)	Fixation des parasites, contenus dans 1 L d'échantillon, par formol et lecture au microscope après centrifugation.	Méthode normative

NTK = azote totale Kjeldhal

DBO = demande biologique en oxygène

DCO = demande chimique en oxygène

Traitement et analyse de données

Les données d'enquêtes ménages ont été traitées et analysées par Epi Info 2004. Les informations collectées lors des enquêtes géographiques ont permis d'établir, à l'aide du logiciel Argis 9.2, les différentes cartes de répartition des facteurs de risque.

La méthode d'analyse quantitative des risques microbiens (QMRA) a été appliquée en quatre étapes [20] :

– Identification du danger

- *E. coli* et *G. lamblia* sont les deux micro-organismes identifiés pour cette étude.

– Évaluation de l'exposition

- Dose microbienne consommée (D) = concentration d'organisme × volume ingéré

– Évaluation dose-réponse

- Deux modèles sont couramment utilisés pour étudier la dose réponse. Il s'agit du modèle exponentiel et du modèle bêta poisson. Le modèle exponentiel est utilisé lorsque le micro-organisme considéré est un parasite. La formule du modèle est :

$$P_{inf} = 1 - \exp(-D/k) \text{ avec } k = 50,23$$

Dans le cas des bactéries comme *E. coli*, on utilise le modèle bêta poisson [20].

$$P_{inf} = 1 - (1 + (D/N_{50}) (2^{1/\alpha} - 1))^{-\alpha} N_{50} = 8,60 \times 10^7 \alpha = 0,1778$$

– Caractérisation du risque

- La probabilité annuelle d'infection (P') a été déterminée par :

$$P' = 1 - (1 - P_{inf})^n \text{ n est la fréquence d'exposition.}$$

Résultats

Modes d'accès et d'utilisation des ressources en eau et saisons climatiques

Le *tableau 2* montre que l'eau de puits constitue la principale source d'eau utilisée par les populations de la ville de Korhogo pour les trois types d'usage (boisson, toilette et vaisselle). En effet, plus de la moitié des ménages de la ville utilisent les eaux de puits respectivement en saison des pluies et en saison sèche comme

eau de boisson. En saison des pluies, 2 % des ménages recueillent l'eau de pluie et l'utilisent pour différents usages.

Le *tableau 3* montre que 84 % des ménages de la zone de bas standing et 53 % des ménages de la zone de moyen standing utilisent les eaux de puits comme eau de boisson, tandis que la majorité des ménages de la zone de haut standing (53,6 %) utilisent l'eau de robinet comme eau de boisson.

Les eaux du barrage de la ville de Korhogo sont également utilisées par les populations pour diverses activités. Nous y avons identifié 83 pêcheurs traditionnels regroupés au sein d'une association (dont 53 hommes et 30 femmes) et 1 423 producteurs de produits maraîchers (95 % de femmes). Par ailleurs, sur une durée de 8 jours, nous avons observé en moyenne 26 enfants qui s'y baignent par jour. Lors des entretiens avec les utilisateurs de l'eau du barrage (maraîchers, pêcheurs), il est ressorti que les enfants y viennent nombreux pendant la saison sèche. Le chiffre obtenu en saison des pluies correspond donc à la valeur minimale d'enfants qui nagent. Selon les utilisateurs de l'eau du barrage, les saisons climatiques affectent considérablement leurs activités. Les maraîchers affirment que « *lors des périodes de fortes pluies, beaucoup de champs sont inondés et donc délaissés* ». Pendant la saison sèche, elles assistent à une aridité des terres et à une diminution des points d'eau. Cette situation leur demande beaucoup d'effort pour avoir une bonne récolte. Elles déclarent que « *quand il ne pleut pas pendant longtemps, l'eau finit dans les puits, le barrage devient petit, alors que la terre devient dure et il faut arroser beaucoup pour que les plantes poussent ; cela nous fatigue beaucoup* ». La pêche n'a pas lieu durant les périodes sèches.

Analyses physico-chimique et microbiologique des eaux de puits et de barrage

Le *tableau 4* indique les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux de puits de la ville

Tableau 2. Sources d'approvisionnement en eau des populations de la ville de Korhogo (enquêtes ménages, février et août 2010).

Table 2. Sources of inhabitants water supply in the city of Korhogo (Household surveys, February and August 2010)

Saisons climatiques	Source d'approvisionnement	Boisson	Toilette	Vaisselle
Saison pluvieuse	Puits (%)	60,0	62,0	63,0
	Robinet (%)	38,0	32,0	30,0
	Pluie (%)	2,0	5,8	7,2
Saison sèche	Puits (%)	65,0	68,3	70,3
	Robinet (%)	31,0	31,7	29,7
	Pluie (%)	0,0	0,0	0,0

Tableau 3. Approvisionnement en eau de boisson dans la ville de Korhogo durant la saison pluvieuse (enquête ménage, février et août 2010).

Table 3. Drinking water supply in the city of Korhogo (Household surveys, February and August 2010).

Sources d'approvisionnement	Bas standing (Zone 1)	Moyen standing (Zone 2)	Haut Standing (Zone 3)	Toute la ville
Puits (%)	83,6	53,3	44,6	60,0
Robinet (%)	15,7	42,0	53,6	38,0
Revendeur (%)	0,7	4,7	1,8	2,0

de Korhogo. Les valeurs moyennes obtenues dans le cadre de notre étude sont comparées aux normes de potabilité pour les eaux de boisson indiquées par l'OMS [21].

Les analyses physico-chimiques indiquent que 80 % des eaux de puits de la ville de Korhogo ont un caractère acide ($\text{pH} < 6,5$). La température moyenne de ces eaux est de 29 °C. En outre, pour 20 % des puits de la ville, la valeur de la conductivité est supérieure à 500 $\mu\text{s}/\text{cm}$, valeur seuil selon l'OMS. Aussi, 27 % des puits de la ville ont une concentration en ammonium supérieure à la valeur seuil (1,5 mg/L). Les puits les plus touchés sont ceux de la zone de bas standing (zone 1).

Par ailleurs, les valeurs moyennes trouvées pour l'oxygène dissous ($3,18 < 5 \text{ mg/L}$), les orthophosphates ($0,89 < 5 \text{ mg/L}$), le nitrate ($9,63 < 50 \text{ mg/L}$) et le nitrite ($0,07 < 3 \text{ mg/L}$) respectent les normes de potabilité indiquées par l'OMS.

L'étude microbiologique a montré que 23 % de l'ensemble des puits de la ville de Korhogo contiennent des germes d'*E. Coli*, dont 57 % dans la zone 1.

L'analyse des eaux de barrage a indiqué une concentration moyenne en *E.coli* de 67 UFC¹/100 ml, une DBO₅ moyenne de 8,36 mg/L et une valeur moyenne de DCO de 47,27 mg/L. Notons qu'aucun kyste de *G. lamblia* n'a été détecté dans les eaux étudiées.

Facteurs de risque environnementaux

Dans la ville de Korhogo, 10 % des ménages ne disposent pas de latrines. Les membres de ces ménages défèquent dans les broussailles existantes entre les habitations ou à l'extrémité de la ville. Par ailleurs, 14 % des latrines sont situées à moins de 10 m des puits (principales sources d'approvisionnement en eau potable [AEP] des ménages). Ces dernières représentent 18 % des latrines dans la zone 1, 8 % dans la zone 2 et de 15 % dans la zone 3. En outre, pour 23 % des puits, les margelles sont des pneus usés de voiture de hauteur inférieure à 20 cm et dans 80 % des cas, les couvercles sont des morceaux de tôles non fixées aux margelles, donc facilement emportables.

En saison sèche, la superficie de la ville de Korhogo occupée par les déchets solides est de 14 000 m² (zone 1

= 3 000 m², zone 2 = 8 000 m², zone 3 = 3 000 m²), alors qu'en saison des pluies cette superficie passe à 20 000 m² (zone 1 = 1 000 m², zone 2 = 13 000 m², zone 3 = 6 000 m²), soit une augmentation de 43 %. La cartographie des déchets sauvages sur chacune des saisons climatiques est indiquée par la figure 3.

Dans l'ensemble, 79 % des ménages de la ville de Korhogo rejettent les eaux de douches et de toilettes dans les fosses septiques ou puits perdus. Les 21 % restants les rejettent dans la nature. Par ailleurs, les eaux usées stagnantes présentes dans la ville occupent respectivement 1 400 m² (zone 1 = 600 m², zone 2 = 330 m², zone 3 = 470 m²) en saison des pluies contre 500 m² (zone 1 = 300 m², zone 2 = 130 m², zone 3 = 70 m²) en saison sèche. La cartographie des grandes surfaces d'eaux usées sur chacune des saisons climatiques est indiquée par la figure 4.

Risques sanitaires associés à la qualité des eaux

Les résultats de l'analyse de risque sont consignés dans le tableau 5. Chaque ménage comprend en moyenne 6 personnes.

Le tableau 5 indique que le nombre d'individus infectés par an est plus élevé dans la zone de bas standing que dans les zones intermédiaires et résidentielles.

Lors des activités de maraîchage, de pêche et de baignade, les eaux du barrage sont consommées volontairement ou non par les acteurs. Il existe donc des risques pour la santé de ces usagers. Le tableau 6 montre que le nombre d'infectés par an est respectivement de 1 280 pour le maraîchage, 59 pour la pêche et 24 pour la baignade.

Discussion

Dans les quartiers de bas standing de Korhogo, notamment ceux proches du barrage (zone 1), le niveau d'assainissement et d'hygiène est précaire. La proximité des puits, principale source d'alimentation en eau potable

¹ Unité formant colonie.

Tableau 4. Comparaison des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux de puits de Korhogo en juin 2011 aux normes de potabilité de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Table 4. Comparison of physico-chemical and microbiology characteristic of well-water in Korhogo in June 2011 to WHO potential norms.

Variables	Valeurs moyennes			Normes OMS	IC 95 %
	Bas standing	Moyen standing	Haut standing		
T°C	27,9	30,4	27,7	22,0	[28,1-34,0]
pH	5,7	5,7	5,8	6,5-8,5	[4,5-7,2]
Conductivité (µs/cm)	392,4	337,8	175,4	500,0	[32,0-976,0]
Oxygène dissous (mg/L)	2,9	3,1	3,5	5,0	[1,6-4,1]
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,7	1,1	0,7	5,0	[0,1-2,6]
NO ₃ ⁻ (mg/L)	8,5	9,9	10,5	50,0	[1,0-28,0]
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,07	0,08	0,06	3,00	[0,01-0,14]
NH ₄ ⁺ (mg/L)	4,5	1,6	1,8	1,5	[0,1-20,0]
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100ml)	554,0	4,0	34,0	0,0	[0,0-210,0]
<i>Giardia lamblia</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	

PO₄³⁻ = phosphate
 NO₃⁻ = nitrate
 NO₂⁻ = nitrite
 NH₄⁺ = ammonium
 UFC = unité formant colonie

des ménages de la ville, avec les fosses septiques pourrait provoquer des contaminations des eaux de puits à partir des écoulements souterrains. En saison des pluies, la présence d'eaux de ruissellement et la contamination par des déchets solides des puits ne possédant pas de bonnes

margelles pourraient expliquer d'une part la présence de *E. coli* dans certaines eaux de puits, et d'autre part, les concentrations élevées d'ammonium dans plus d'un quart (27 %) des puits de la ville. Makoutode *et al.* [22] affirment que la présence d'éléments chimiques, azotés

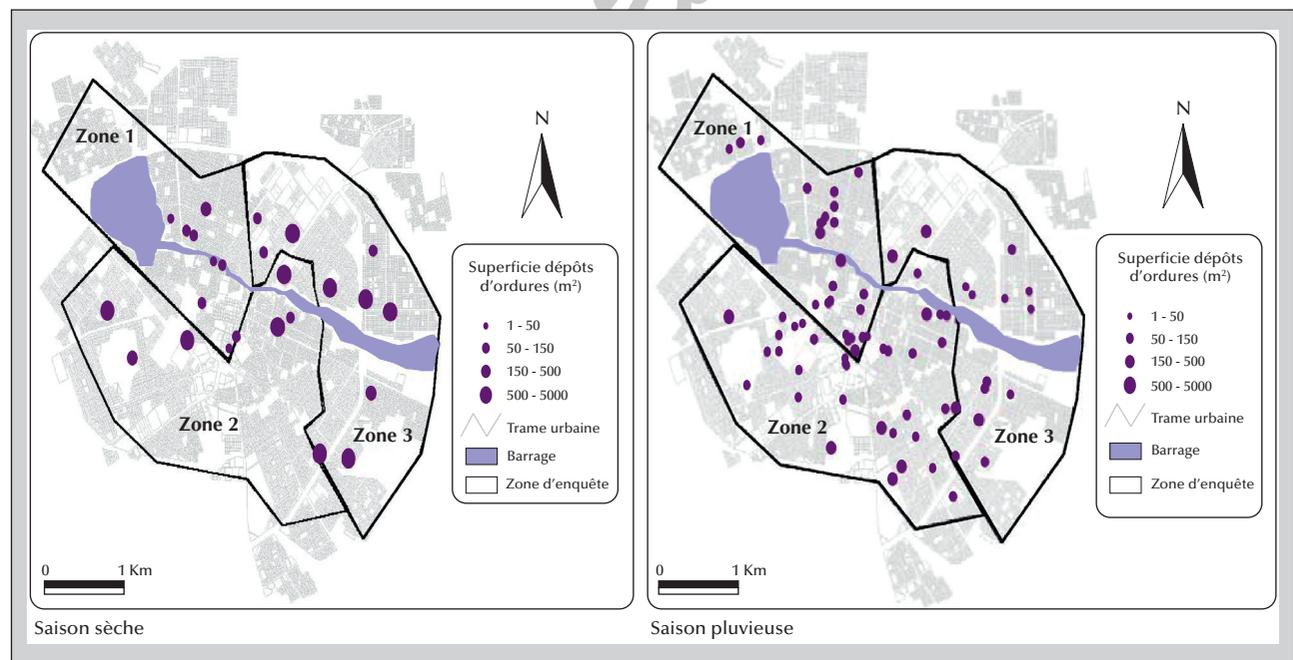


Figure 3. Représentation des grands dépôts d'ordures de la ville de Korhogo durant les deux saisons climatiques (enquêtes géographiques, février et août 2010).

Figure 3. Representation of major garbage dumps of the city of Korhogo in both climate seasons.

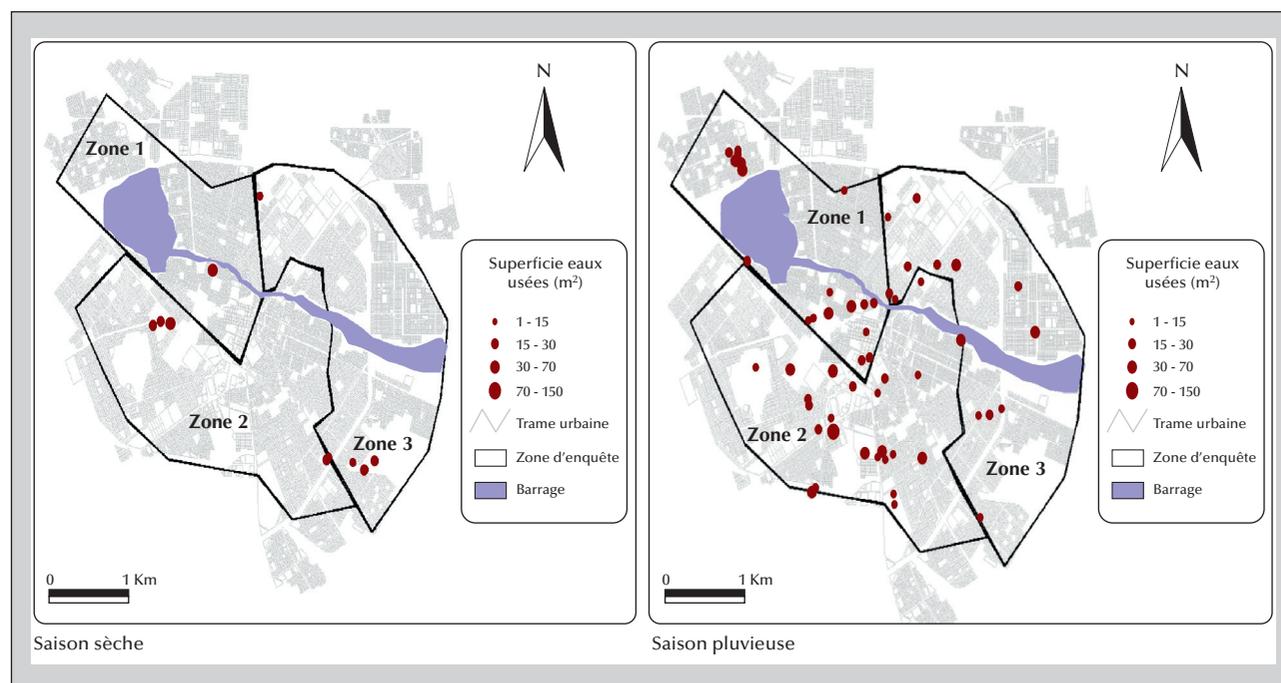


Figure 4. Représentation des grandes surfaces d'eaux usées de la ville de Korhogo durant les deux saisons climatiques (enquêtes géographiques, février et août 2010).

Figure 4. Representation of major areas of waste waters of the city of Korhogo in both climate seasons (geographical surveys, february and august 2010).

et phosphorés notamment, à des proportions supérieures à la norme recommandée par l'OMS, s'explique en général par le faible niveau de l'assainissement et de l'hygiène publique de la localité. La forte valeur de la conductivité électrique (392,40 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 337,8 $\mu\text{s}/\text{cm}$) dans les zones de bas et moyen standing suppose qu'il y a une infiltration des eaux usées dans les puits ou la pollution des puits sans une bonne margelle par ruissellement et déversement des eaux usées. En outre, la présence de germes d'*E. coli* dans plus de la moitié (57 %) des puits de la zone 1 confirme cette supposition et atteste de l'insuffisance du niveau d'assainissement et d'hygiène des quartiers de celle-ci. La quasi-totalité des villes des pays en développement présentent des situations similaires.

Il y existe des quartiers précaires dont le niveau de vie contraste avec les quartiers résidentiels [23]. Le secteur de l'eau et de l'assainissement est le plus perceptible [24]. Ella et al. [25] révèlent par exemple que les eaux de puits du quartier de Damas à Yaoundé (Cameroun) sont polluées, notamment du fait de la promiscuité des puits avec les latrines, les fosses septiques et les systèmes d'égouts à ciel ouvert.

La zone dite intermédiaire ou de moyen standing (zone 2) de la ville de Korhogo a la plus grande superficie occupée par les dépôts sauvages sur chacune des deux saisons climatiques. Cela se justifie par le fait que cette zone comprend les plus grands marchés de la ville où les dépôts d'ordures ne sont pas régulièrement enlevés.

Tableau 5. Risques d'infections liées à la consommation d'eaux de puits contaminée par *Escherichia coli*.

Table 5. Risk of infection associated with consumption of well water contaminated by Escherichia coli.

Zone	Dose d' <i>Escherichia coli</i> consommée/ Exposition (UFC)	Population exposée (personnes)	Fréquence annuelle d'exposition (jrs)	Probabilité d'infection/ an	Nombre probable d'infectés/an (personnes)
Bas standing (Zone1)	66,48	1008	365	1,0	1008
Moyen standing (Zone 2)	0,48	636	365	0,8	508
Haut standing (Zone 3)	4,08	540	365	0,9	486

UFC = Unité formant colonie

Tableau 6. Risques d'infections liées à l'usage des eaux du barrage contaminées par *Escherichia coli*.

 Table 6. Infection risks caused by *Escherichia coli* in dam waters in June 2011.

Activité	Dose d' <i>Escherichia coli</i> consommée/Exposition (UFC)	Population exposée (personnes)	Fréquence annuelle d'exposition (jrs)	Probabilité d'infection/ an	Nombre probable d'infectés/an (personnes)
Maraîchage	0,69	1 423	312	0,9	1280
Pêche	0,37	83	312	0,7	59
Baignade	0,37	26	104	0,9	24

UFC = Unité formant colonie

Les commerçants travaillent dans cette zone toute la journée, s'y restaurent ; les populations qui vivent dans ce secteur de la ville s'y approvisionnent pour la cuisine et sont également exposées aux mouches, aux moustiques et aux odeurs nauséabondes liées aux dépôts sauvages. Ce constat a été aussi fait par Bazoun [26] dans l'arrondissement de Sig-Noghin, dans la commune de Ouagadougou, au Burkina Faso. Il a montré que les populations de cette localité habitent et/ou se restaurent pour la plupart à environ 100 m des grands dépôts d'ordures.

Les valeurs moyennes de DBO₅ et de DCO des eaux du barrage indiquent que la qualité de ces eaux est mise en cause, du moins en ce qui concerne la demande en oxygène. En effet, la DBO₅ et la DCO d'une eau de surface destinée à l'approvisionnement en eau potable des populations doivent être respectivement inférieures à 3 mg/L et 30 mg/L [16]. La forte demande en oxygène est due au fait que l'eau de barrage reçoit beaucoup de charges polluantes drainées par les eaux de ruissellements lors des pluies, y compris les effluents agricoles. La probabilité annuelle d'infections obtenue tant pour la consommation des eaux de puits (0,8 à 1) que pour l'ingestion volontaire ou accidentelle des eaux du barrage lors des activités (0,7 à 0,9) est élevée. Toutefois, les résultats de cette étude peuvent s'expliquer par la fréquence d'exposition des populations aux ressources en eaux en question. En effet, les enquêtes sanitaires ont montré que la fréquence d'exposition est quotidienne pour la pêche et le maraîchage. En ce qui concerne l'eau de boisson, la quantité moyenne d'eau de puits bue par jour et par personne est de 1,5 L [27]. Par ailleurs, la probabilité qu'une personne soit infectée d'*E. coli* est plus élevée dans la zone de bas standing à cause du nombre élevé de personnes buvant les eaux de puits et du faible niveau d'assainissement et d'hygiène qui favorise la contamination de ces eaux.

Les solutions durables à une telle situation devront émaner d'actions concertées entre les communautés et les chercheurs. L'approche écosystémique à la santé humaine repose sur six piliers principaux que sont :

- la réflexion systémique ;
- la transdisciplinarité ;
- la participation ;

- l'équité sociale et de genre ;
- la recherche-action ;
- la durabilité.

Cette approche pourrait aider à traiter avec efficacité les questions d'accès quantitatif et qualitatif à l'eau, d'hygiène et de santé des populations de Korhogo, comme cela a déjà été le cas à Yaoundé au Cameroun [28] et à moindre échelle dans un village périurbain d'Abidjan [29, 30].

Conclusion

La nature des sources d'approvisionnement en eau potable (AEP) dans les ménages de Korhogo est liée au niveau de vie de ceux-ci. Les ménages des quartiers de bas standing utilisent beaucoup plus les eaux des puits pour leur AEP. Ces eaux, qui sont dans l'ensemble les plus consommées dans toute la ville, sont associées à un risque d'infection microbiologique. Le faible niveau d'hygiène et d'assainissement contribue fortement à la dégradation de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits. Les saisons climatiques influencent aussi le niveau de salubrité de la ville de Korhogo, et par conséquent la qualité des eaux, avec surtout le drainage des déchets par les eaux de ruissellements en saison des pluies. L'analyse quantitative des risques microbiens indique que la probabilité d'infections d'*E. coli* est élevée, aussi bien pour l'utilisation de l'eau du barrage que de l'eau des puits. Nous proposons donc une approche intégrée (l'approche écosanté), entre les communautés, les décideurs locaux et les chercheurs pour faire face au problème d'accès à l'eau potable et à l'assainissement à Korhogo, afin d'atténuer les risques sur la santé des populations locales.

La situation socio-environnementale et climatique de Korhogo étant semblable à celle de nombreuses autres villes secondaires de la sous-région ouest africaine et du monde en développement, cette étude vient apporter sa contribution à la compréhension des problèmes d'accès à de l'eau de qualité et en quantité dans des contextes socioclimatiques et environnementaux similaires. ■

Remerciements et autres mentions

Nous remercions pour leur collaboration l'Association des productrices de maraîchers autour du barrage de Korhogo, l'Association des pêcheurs de Korhogo, la Direction régionale de la société de distribution d'eau en Côte d'Ivoire (SODECI) de Korhogo.

Financement : cette étude a été réalisée grâce aux soutiens financiers et/ou matériels du Centre de recher-

ches pour le développement international du Canada (CRDI), des programmes RIPIECSA et NCCR *North-South* (RP15), du Centre suisse de recherches scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS), de l'Institut tropical et de santé publique Suisse (Swiss TPH) et de l'université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire) ; **liens d'intérêt** : aucun.

Références

1. World Health Organization/United Nations Children's Fund (WHO/UNICEF). *Water sanitation health. Joint monitoring report : progress on sanitation and drinking water, 2010*. WHO/UNICEF: 2010.
2. Programme solidarité eau (pS- Eau). *La lettre du pS-Eau n°67*. pS-eau: 2011.
3. Organisation mondiale de la santé (OMS). Comité d'experts du paludisme. *Séries de rapports techniques 2000* ; 892.
4. Banque africaine de développement (BAD). Projet d'assainissement des villes de Brazzaville et Pointe-Noire (Congo). *Rapport d'évaluation de projet 2009*.
5. Guengant JP. La démographie africaine entre convergences et divergences. In: Ferry B, ed. *L'Afrique face à ses défis démographiques : un avenir incertain*. Collection: Homme et Société : sciences économiques et politiques. Paris: Éditions Karthala, 2007.
6. Direction de la coopération internationale et du développement (DgCiD). Gestion intégrée des ressources en eau transfrontalières, rapport d'activité. *Les Notes du jeudi 2007* ; 67.
7. Silué B, Cissé G, Koné B, Zurbrügg C, Savané I. Équité d'accès à l'eau potable dans un contexte de diversité de modes d'approvisionnement : cas de la ville de Bouaké (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research 2012* ; 72 (2) : 298-310.
8. Documents de stratégie pour la réduction de la pauvreté (DSRP). *Stratégie de relance du développement et de la réduction de la pauvreté*. République de Côte d'Ivoire : DSRP, 2009.
9. Tall A, Simon JM, Maarten VA, et al. Using seasonal climate forecasts to guide disaster management: the Red Cross experience during the 2008 West Africa floods. *International Journal of Geophysics 2012*. doi: 10.1155/2012/986016
10. Cissé G, Koné B, Bâ H, Koba K, Mbaye I. *Eau, santé et adaptation au changement climatique dans les villes secondaires en Afrique de l'Ouest*. Projet présenté lors de l'atelier final du Programme RIPIECSA, Cotonou (Bénin), 18-21 octobre 2011. Session RIP- résumés des projets RIPIECSA.
11. Ministère de l'Environnement de l'Eau et la Forêt (MEFE). Communication nationale initiale de la Côte d'Ivoire. *Bureau Projet Changements Climatiques 2000* ; 24, 58-59, 61.
12. Bouyer J, Hénom D, Cordier S, et al. *Épidémiologie : principes et méthodes quantitatives*. Paris : INSERM, 1995.
13. Vaughan JP, Morrow RH. *Manuel d'épidémiologie pour la gestion de la santé au niveau du district*. Genève : OMS, 1991.
14. Programme national de lutte contre le paludisme (PNLP). *Rapport annuel sur la situation du paludisme*. République de Côte d'Ivoire : Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique, 2005.
15. Fan A, Willhite C, Book S. Evaluation of the nitrate drinking water standard with reference to infant methemoglobinemia and potential reproductive toxicology. *Regul Toxicol Pharmacol 1987* ; 7 : 135-48.
16. Rodier J. *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. Paris : Dunod, 1996.
17. Ferrer A, Nguyen-Viet H, Zinsstag J. Quantification of diarrhea risk related to wastewater contact in Thailand. *EcoHealth 2012*. doi: 10.1007/s10393-012-0746-x
18. Association française de normalisation (AFNOR). *Qualité de l'eau : analyses biochimiques et biologiques, analyses microbiologiques*. Tome 4, 6^e édition. AFNOR, 2001.
19. HACH. *Modèle DR/2400, spectromètre de laboratoire : procédures*. Document 022.77.00567, 2002.
20. Haas CN, Rose JB, Gerba CP. *Quantitative microbial risk assessment*. Canada : John Wiley and Sons, 1999.
21. Organisation mondiale de la santé (OMS). *Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable*. OMS: 2006. www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm.
22. Makoutode M, Assani AK, Ouendo EM, Agueh VD, 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) : 529-34.
23. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). *The challenge of slums. Global report on human settlements*. London : Earthscan, 2003.
24. Wethé J, Radoux M, Tanawa E. Assainissement des eaux usées et risques sociosanitaires et environnementaux en zones d'habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). *Vertigo 2003* ; 4 (7). doi: 10.4000/vertigo.4741
25. Ella JB, Assako ARJ, Ndock NG. *Alimentation en eau et vulnérabilité des populations aux maladies hydriques à Mbalmayo, ville périurbaine de Yaoundé (Cameroun)*. Groupe de recherche sur les villes d'Afrique (GREVA), École normale supérieure, Université de Yaoundé I, Cameroun. Communication Association d'écologie humaine d'Afrique (AEHA), 2009.
26. Bazoun J, Sawadogo A, Hangnon H. *Approche cartographique de l'évaluation des risques environnementaux et*

sanitaires liés aux décharges sauvages : cas de l'Arrondissement de Sig-Noghin (commune de Ouadadougou). Actes du colloque international francophone E3D "Eau, Déchets & Développement durable". Atelier Déchets. Alexandrie: Bibliotheca Alexandrina, 2010.

27. Passeport santé. *Boire de l'eau : pourquoi et combien ?* www.passeportsanté.net [consulté le 21 novembre 2014].

28. Ngnikam E, Tanawa E, Noumba I, et al. *Eau et santé : réconcilier l'eau, l'assainissement et la santé par l'approche*

ÉCOSANTÉ. Belfort : Université de technologie de Belfort-Montbéliard, 2011.

29. Koné B, Feagan M, Houenou YA, et al. Facilitating the relationship between researchers and policy-makers: experiences from three Ecohealth projects in West and Central Africa. *Ecohealth* 2012 ; 8 (4) : 413-7.

30. Koné B, Doumbia M, Sy I, et al. Étude des diarrhées en milieu périurbain à Abidjan par l'approche écosanté. *Vertigo* 2014; Hors-série 19. doi: 10.4000/vertigo.14976