INONDATION ET POLLUTION BACTERIOLOGIQUE DES EAUX DE PUITS DE BOISSON DANS LA VILLE DE GAGNOA (CENTRE OUEST DE LA COTE D'IVOIRE)

FLOODING AND BACTERIOLOGICAL POLLUTION OF DRINKING WELL WATER IN THE CITY OF GAGNOA (MIDDLE-WEST OF IVORY COAST)

MONDESIR Thierry Koraba : Géographe de l'Environnement-Santé, GRETSSA, IGT, Université Félix Houphouet Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, Email :thierrymonde2014@gmail.com

TAPE Bi Sehi Antoine : Géographe de l'Environnement, GRETSSA, Université Péloforon Gon COULIBALY, Korhogo, Côte d'Ivoire, Email : tapepergo2006@yahoo.fr

TAMBOURA Awa Timité : Géographe de l'Environnement-Santé, GRETSSA, Université Lorougnon Guédé de Daloa, Côte d'Ivoire, Email : a.timite@yahoo.fr

ANOH Kouassi Paul : Géographe Environnement-Santé, GRETSSA, IGT, Université Félix Houphouet Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, anohpaul@yahoo.fr

RESUME

Si par le passé, les recherches sur les facteurs d'émergence des maladies hydriques étaient basées sur les comportements individuels à risque, aujourd'hui force est de constater que ceux qui sont associés aux risques climatiques comme les inondations sont les moins connus. C'est pourquoi, cet article se propose de montrer l'impact des inondations sur la dégradation des qualités bactériologiques des eaux de puits domestiques post-inondation dans la ville de Gagnoa. Pour ce faire, une analyse des pluies à l'origine des crues des 25, 26, 27 et 28 juin 2017, ainsi que l'analyse de 144 échantillons d'eau de puits traditionnels huit mois après les inondations, par la méthode de filtration sur membrane ont été menées.

Les résultats de l'étude révèlent que l'épisode des pluies intenses des 23, 24, 25 et 26 juin 2017 totalise 76.7 mm de pluies. Bien que modeste cette quantité a entrainé la montée des eaux des affluents de la rivière Guéri, pour atteindre des interfluves relativement épargnées par les crues décennales par le passé. Une situation qui s'explique par la mauvaise gestion des ouvrages de drainage des eaux pluviales et une pression anthropique sur les bas-fonds.

Les mécanismes de transfert des polluants bactériens responsables de la pollution des eaux de puits domestiques sont le débordement des rivières et le ruissèlement d'eau de surface. Sur les 448 ilots submergés par les eaux de surface, les eaux de 36 puits échantillonnés présentent en moyenne 9141,44 UFC/100 ml de coliformes fécaux par puits et 448 UFC/100 ml de streptocoques fécaux. Autrement dit, ces eaux de puits sont contaminées par des bactéries témoins de contamination fécale ou sont non conformes aux directives de potabilité de l'OMS. Pourtant, ces eaux de puits sont sollicitées par les ménages dépourvus de branchements d'adduction d'eau potable et servent de ressource alternative pour les ménages abonnés de la SODECI en cas d'interruption de service. C'est tout le risque sanitaire que les stratégies de gestion intégrée des inondations doivent prendre en compte pour une résilience climatique dans la ville de Gagnoa.

Mots-clés : Gagnoa, Pluies extrêmes, Inondation, pollution microbienne, Puits de boisson

ASTRACT

While past research on the factors contributing to the emergence of waterborne diseases focused on individual risk behaviors, today it is clear that those associated with climatic risks, such as flooding, are the least understood. Therefore, this article aims to demonstrate the impact of flooding on the degradation of the bacteriological quality of post-flood domestic well water in the

city of Gagnoa. To this end, an analysis of the rainfall that caused the floods of June 25, 26, 27, and 28, 2017, as well as the analysis of 144 samples of water from traditional wells eight months after the floods, using membrane filtration, were conducted.
The study's results reveal that the intense rainfall event of June 23-26, 2017, totaled 76.7 mm. Although modest, this amount caused the *Guéri* River's tributaries to rise, reaching interfluves that had been relatively spared from decennial floods in the past. This situation can be attributed to poor management of storm water drainage systems and human activity influencing the low-lying areas.
The mechanisms by which bacterial pollutants are transferred, responsible for the pollution of domestic well water, are river overflow and surface runoff. Of the 448 islands submerged by surface water, the water from 36 sampled wells showed an average of 9141,44 CFU/100 ml of fecal coliforms per well and 448 CFU/100 ml of fecal streptococci. In other words, this well water is contaminated by bacteria indicative of fecal contamination or does not meet WHO drinking water standards. Yet, this well water is used by households without piped drinking water connections and serves as an alternative resource for SODECI (the local water company) subscribers in case of service interruptions. Integrated flood management strategies must consider this whole health risk for climate resilience in the city of Gagnoa.
Keywords: Gagnoa, Extreme rainfall, Flooding, Microbial pollution, Drinking wells

INTRODUCTION

Au-delà des problèmes posés par le réchauffement atmosphérique lui-même, les phénomènes météorologiques extrêmes ont des conséquences considérables sur la santé humaine, en particulier pour les populations vulnérables (S. MOORE, R. COLWELL, 2025, p. 66). Comme conséquences, de ces extrêmes, les inondations peuvent polluer les sources d'eau potable et les sècheresses compromettre la quantité et la qualité de l'eau, pour finalement accroitre la vulnérabilité des populations aux maladies hydriques. Surtout quand le contexte urbain devient de plus en plus un véritable aléa. Car une urbanisation rapide et anarchique engendre toute une série de problèmes complexes depuis ceux du logement, de l'assainissement de base et de la pollution du milieu (OMS, 1972, p. 122).

En géographie, le rôle des inondations amenées par des pluies diluviennes, source de pollution bactériologique, est très peu évoqué dans la littérature. Ainsi, les effets de l'évolution climatique risquent d'être néfastes, parfois irréversibles dans de nombreuses régions. Voilà pourquoi, les modifications du climat représentent un stress supplémentaire important pour les systèmes déjà touchés par l'exploitation des ressources, les pratiques de gestion non durables et la pollution, agressions dont les effets sont souvent égaux ou supérieurs à ceux de l'évolution climatique (F. BESSAT, J. M. AMAT-ROZE, 2003, p. 22). L'évolution du climat est donc susceptible de modifier la géographie des écosystèmes et les équilibres qui leurs sont liés (M. ANDO, 1996, p. 1). Lorsqu'on sait que les modifications climatiques sont appelées à s'amplifier, il est par ailleurs intéressant de comprendre les interactions des facteurs qui concourent au fonctionnement des systèmes épidémiologiques (F. RODHAIN, 2003, p. 9), surtout lorsque que leur dynamique conditionne la dynamique des infections bactériennes en lien avec les risques naturels comme les inondations. Dans de nombreux pays de l'Afrique

subsaharienne, la pression urbaine sur les zones délaissées de lotissement devenues des espaces de vie, perturbent les hydrosystèmes naturels.

On y trouve des logements précaires et surpeuplés, ainsi qu'un approvisionnement en eau et un assainissement laissant à désirer, associés à une augmentation de la mortalité et de la morbidité dues aux maladies contagieuses, notamment les gastro-entérites (OMS, 1994, p. 3). Ainsi, les villes tentaculaires créent des conditions qui permettent aux microbes de proliférer.

Par le passé, de nombreuses observations épidémiologiques ont montré que les poussées du choléra et son mode de propagation empruntaient le milieu naturel et plus particulièrement l'eau (BARUA et al., 1970). De même, pour la salmonellose (fièvre typhoïde), bien que d'origine alimentaire, elle peut être également provoquée par l'eau (GREENBERG et ONGERTT, 1966). Cette préoccupation est d'autant plus actuelle qu'aujourd'hui, de nouvelles menaces de transmission des microbes se déroulent lors des crises climatiques ou des événements météorologiques extrêmes.

Amenées par le dérèglement climatique, les pluies intenses et les inondations sont susceptibles de mobiliser les matières contaminantes (OMM, 2012, p. 17). En effet, la contamination microbiologique des eaux de puits de consommation humaine lors des événements météorologiques particuliers, reste un risque sanitaire qui prend de l'ampleur. Car l'eau nécessaire à l'hygiène et à la santé peut transporter des matières polluantes, propager des maladies hydriques comme les Entérites, les Gastro-entérites, les Parasitoses intestinales, l'hépatite, la Fièvre typhoïde, la Dysenterie bactérienne et l'Amibiase (T. K. MONDESIR., 2021, p. 409). À propos, l'OMS (2023) affirmait qu'en 2022, au moins 1,7 milliard de personnes dans le monde utilisaient une source d'eau contaminée par les matières fécales. Pourtant, la disponibilité d'eau potable en quantité suffisante facilite l'hygiène essentielle pour prévenir non seulement les maladies diarrhéiques, mais aussi les infections respiratoires aiguës et de nombreuses maladies.

C'est dans ce contexte que l'année 2017 a été marquée par des crues exceptionnelles, amenées par des pluies diluviennes, aussi bien à Abidjan la capitale, que dans les autres régions de la Côte d'Ivoire. Par exemple, dans le Centre-Ouest, l'année a débuté par une longue saison sèche avec des déficits pluviométriques de -30 % (SODEXAM, 2018, p. 3). Paradoxalement à cette sècheresse des quatre premiers mois de l'année 2017, des pluies diluviennes ont provoqué des inondations qui ont impacté les réserves d'eau de boisson des ménages pauvres, entraînant une flambée de maladies hydriques, après les 23, 24, 25 juin dans la ville de Gagnoa. Fort de ce constat, une question se pose : Comment les inondations ont-elles entraîné la pollution bactériologique des eaux de puits les 25, 26, 27 et 28 juin 2017 dans la ville de Gagnoa ?

De cette question centrale, des questions subsidiaires nous viennent à réfléchir sur la question, à savoir : Quels sont les facteurs environnementaux responsables de la crue des 25, 26, 27 et 28 juin 2017 à l'origine des inondations des puits domestiques à Gagnoa ? Comment cette contamination bactérienne des eaux de puits se présente-t-elle en période post-inondation ? Notre étude pose comme postulat que lors des inondations, la mauvaise

hygiène des systèmes d'assainissement autonome défectueux des ménages entraîne une infiltration des bactéries d'origine fécale dans les eaux pendant les événements pluviométriques extrêmes. Pour ce faire, une méthodologie a été appliquée afin de mener la recherche.

2. MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

2-1. Présentation de la zone d'étude

La ville de Gagnoa est le chef-lieu de la Région du Gôh au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Elle fait partie du bassin versant du fleuve Sassandra dont l'affluent le Guéri compartimente le site de la ville en cinq entités morphologiques. Les coordonnées géographiques sont 6° 07' 53,99'' de latitude nord, 5° 55' 59,99'' de longitude ouest. L'équivalent des coordonnées projetées UTM (WGS84) dans la zone 30N est 17 309,88'' de latitude Nord et 67 8837,13 de longitude Ouest.

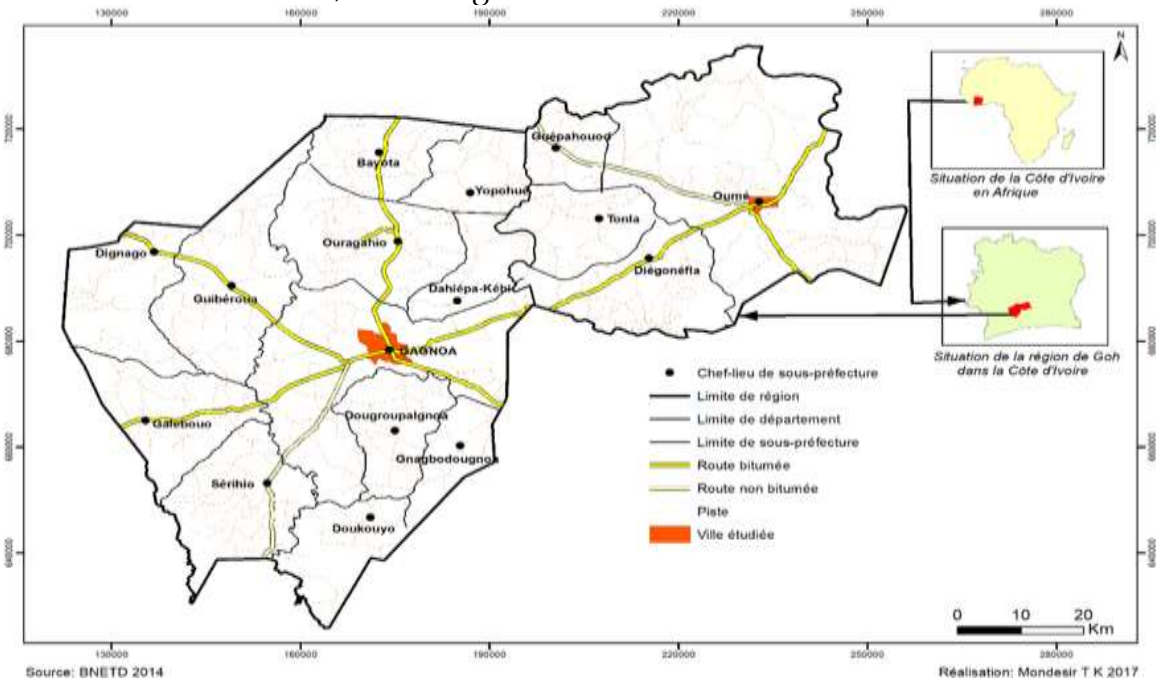


Figure 1 : Carte de localisation de la ville de Gagnoa dans la région du Goh

2-2. Données, Matériels et Méthodes

2-2-1. Les données de l'étude

Pour réaliser l'étude, nous avons eu recours aux données démographiques, cartographiques et aux données climatiques.

a- Les données démographiques et cartographiques

Les données du Recensement Général de la Population et de l'Habitat de l'INS de 2014 ont permis de connaître les effectifs de la population de la ville afin de faire des projections et d'évaluer la pression démographique par l'estimation de la densité de population. Le découpage des quartiers par la mairie et le fond cartographique du cadastre, ainsi que le Schéma Directeur d'Assainissement de la ville par la SOGED (2016) ont été nécessaires

pour connaître les problèmes d'équipements et de gestion du drainage des eaux dans la ville.

b- Les données météorologiques et climatiques
Ces données ont été obtenues à la SODEXAM de Gagnoa. Il s'agit des chroniques des hauteurs de pluies annuelles (1930-2010), des pluies journalières extrêmes (1981-2016) et des bulletins météorologiques des mois de mai et juin 2017.

2-2-2. La collecte des données de terrain

• **L'observation directe sur le terrain**
L'observation directe sur le terrain a permis d'inventorier et de dénombrer les parcelles dont les puits ont été inondés. Elle a également consisté à identifier les mesures d'hygiène et les sources de pollution autour des puits destinés à la boisson des ménages avant les inondations. Après les inondations, le dénombrement des puits inondés les 26, 27 et 28 juin 2017 a été nécessaire

• **Matériel de Contrôle qualité bactériologique des eaux de puits post-inondation**
La procédure de contrôle qualité bactériologique des eaux de boisson dans les puits domestiques repose sur la recherche des bactéries témoins de pollution fécale huit mois après les inondations. À cet effet, la présence d'organismes indicateurs et en particulier *l'Escherichia coli* fécal offre une présomption, sinon une certitude de pollution par les égouts et indique la possibilité d'un risque pour la santé publique (OMS, 1972, p. 52). Selon la directive de l'OMS (1995), il faut les deux traces de streptocoques fécaux et de coliformes fécaux pour être certain de pollution fécale (**tableau I**).

Tableau I: Matériels d'analyse bactériologique des eaux de puits par la filtration sur membranes

Germes de bactéries et géloses adaptés	Typologie des germes bactériens	Rôle de l'indicateur
Streptocoques (Gélose à BEA) Norme : ISO 7899-2	Entérocoques fécaux ; Streptocoques groupe D (Lancefield)	Pollution fécale ancienne
Les coliformes (Gélose à TBX) Norme : ISO 16649	Coliformes totaux ; Coliformes thermo-tolérants ; *Escherichia coli*	Pollution fécale récente

Source : nos enquêtes, 2023, OMS 1972, OMS 1995

Le protocole de filtration sur membrane de 45 µm, utilise un foyer mobile, une trompe à vide, des géloses et des boîtes à Pétri stériles pour éviter les biais. Il y a aussi un incubateur corporel qui réagit à la température de 37 °C pour la culture des bactéries. Au total, 144 prélèvements d'eau de puits pour analyse ont été échantillonnés à 10 mL et placés sur une gélose TBX et BEA. Après 24 à 48 heures d'incubation à 37 °C, les colonies de bactéries sont dénombrées et multipliées par 10. Le résultat est donné en (unité formant colonie) ou UFC/100 mL (H.A. ISENBERG et al., 1970, p. 120). Les 144 échantillons ont été répartis

en zones inondées, dont 21 puits dans les lits moyens des rivières et 15 puits en tête de bas-fonds choisis de manière aléatoire sur les 448 îlots inondés.

2.2.3. Traitement et analyse des données

Les données de température et de pluviométrie ont permis de réaliser le diagramme ombro-thermique (1991-2010) de Gagnoa. Les pluies extrêmes journalières ont été rangées de janvier à décembre de 1981 à 2010 pour connaître la fréquence d'occurrence des pluies journalières extrêmes. Les données cadastrales et de populations ont permis d'actualiser la carte des densités de population et les ilots submergés par les crues des 26, 27 et 28 juin 2017, à l'aide du logiciel SIG (Arc GIS 10.2.2).

3. RÉSULTATS

Après analyse des données, trois principaux résultats se dégagent de cette étude : les facteurs favorables aux inondations dans la ville, les mécanismes de transport des polluants bactériens dans les puits pendant les inondations et la qualité bactériologique des puits après les crues à Gagnoa.

3.1. Les facteurs favorables aux inondations dans la ville de Gagnoa

3.1.1. Une forte pression démographique sur les zones inconstructibles

La ville de Gagnoa a connu une longue histoire migratoire qui a impulsé son développement de 1948 à 2014. En effet, sa population est passée de 2 000 habitants en 1948 à 179 718 habitants en 2014. Parallèlement, l'espace urbain est passé de 360 ha en 1970 à 2 875 ha en 2014. La densité de population dépasse les 120 hab/ha dans les vieux quartiers du centre historique voir carte(**figure2**).

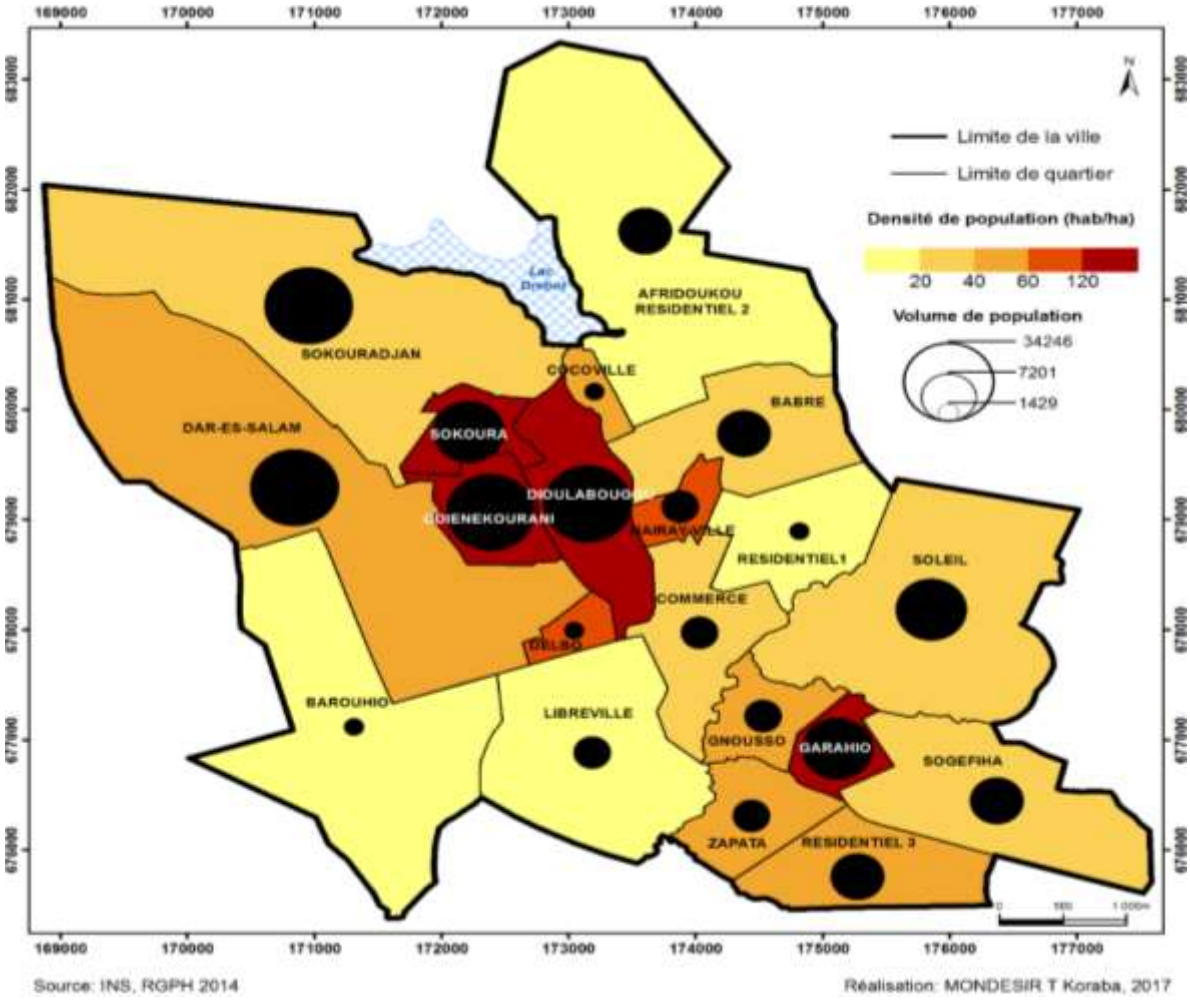


Figure 2: Densité de population à l'hectare en 2017 dans la ville de Gagnoa

À l'observation, on note que les quartiers historiques, comme Garahio, Dioulabougou, Odienekourani, Soleil et autres, présentent des densités de population dépassant les 300 hab/ha. Car depuis 1988, ces quartiers très densifiés ont dépassé leur capacité d'accueil. Par conséquent, le trop-plein de migrants n'a trouvé refuge que dans les zones délaissées de lotissement comme les bas-fonds. Cette occupation anarchique des bas-fonds avait été évaluée à 98 ha en 1986 (BNEDT, 1992), mais aujourd'hui, c'est 304 ha de bas-fonds transformés en zones d'habitation sur 1 100 ha dans l'emprise urbaine. Comme le montrent les résultats de l'enquête MOS en novembre 2017, les bas-fonds ne représentent plus que 785,53 ha sur les 1100 ha de l'emprise urbaine. Toute la zone d'extension des crues a été morcelée, rétrécissant du coup la capacité naturelle de gestion des inondations et perturbant le régime d'écoulement des eaux des rivières de la ville.

3.1.2. Inadéquation et obstruction des ouvrages de drainage des eaux pluviales à Gagnoa

La ville de Gagnoa a un linéaire de 324 km de voiries urbaines estimé, pour seulement 43,351 km de caniveaux, soit un retard de 280 km de caniveaux. Sur 58 points de passages des rivières de la ville, seulement 19 ouvrages de franchissement des talwegs (ponts,

dalots et buses vieillissantes) assurent le passage d'un quartier à l'autre. Ces buses métalliques sont aujourd'hui dépassées ou sous-dimensionnées par rapport aux forts débits d'eau de pluie qui fait suite à l'imperméabilisation des sols du bassin urbain des affluents du Guéri en ville. La présence de décharges non contrôlées au marché du Commerce et la carence des entretiens de caniveaux et canaux de drainage des eaux pluviales ont conduit à la rapide montée des eaux les 25, 26, 27 et 28 juin 2017(planche 1).



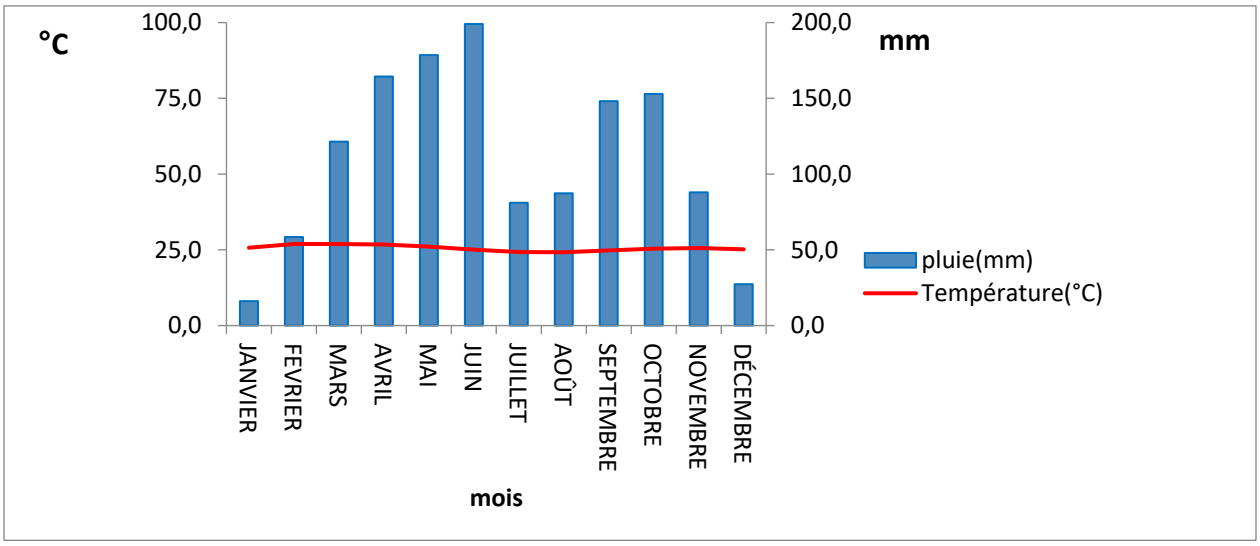
Planche photo 1: Buses de franchissement des talwegs sous-dimensionnés axe Commerce-Dioulabougou et bouteilles en plastiques obstruant le passage de l'eau contre une buse à Dar-es-Salam dans la ville de Gagnoa (Crédit photo MONDESIR TK, 5 septembre 2026)

Comme le montrent les photos, les passages busés sont dépassés par les débits d'eau ruisselés durant les fortes pluies. Plus grave, les caniveaux sont toujours envasés ou saturés par des déchets automobiles, des sciures de bois ou de la paille de riz, des caniveaux bouchés par les déchets menagers, surtout les sachets plastiques et parfois des constructions anarchiques sur les caniveaux. Cette situation reste préoccupante durant les pluies extrêmes qui provoquent les inondations.

3-2. Les mécanismes de transfert des polluants bactériens durant les inondations à Gagnoa

3-2-1. Caractérisation des pluies à l'origine des inondations de juin 2017 à Gagnoa

Le Centre-Ouest et le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire appartiennent au régime équatorial de transition. On distingue quatre saisons : deux saisons des pluies et deux saisons sèches (**Figure 3).**



Source : SODEXAM 2018

Figure 3 : Diagramme ombro-thermique de la ville de Gagnoa (1991-2010)

Le graphique ci-dessus montre que le mois de juin correspond au maximum des précipitations, avec 200 mm. Les températures sont variables, avec un minimum de 24 °C en août. En moyenne, il pleut 1 400 mm par an (normale 1931-2010). Cependant, durant l'année 2017, une sécheresse sévère a débuté durant les quatre premiers mois de l'année, donne un déficit de précipitation de -27 % du total annuel, avec 1 030 mm de pluie selon la SODEXAM (2018) **figure 4**.

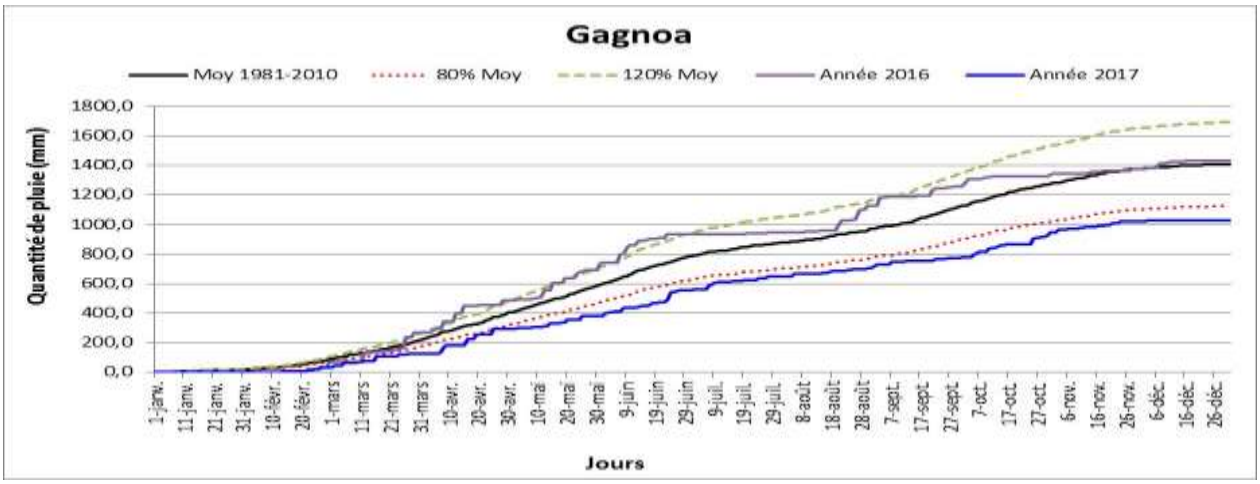


Figure 4 : évolution comparée des pluies de 2017 par rapport à la moyenne 1981-2010 de Gagnoa

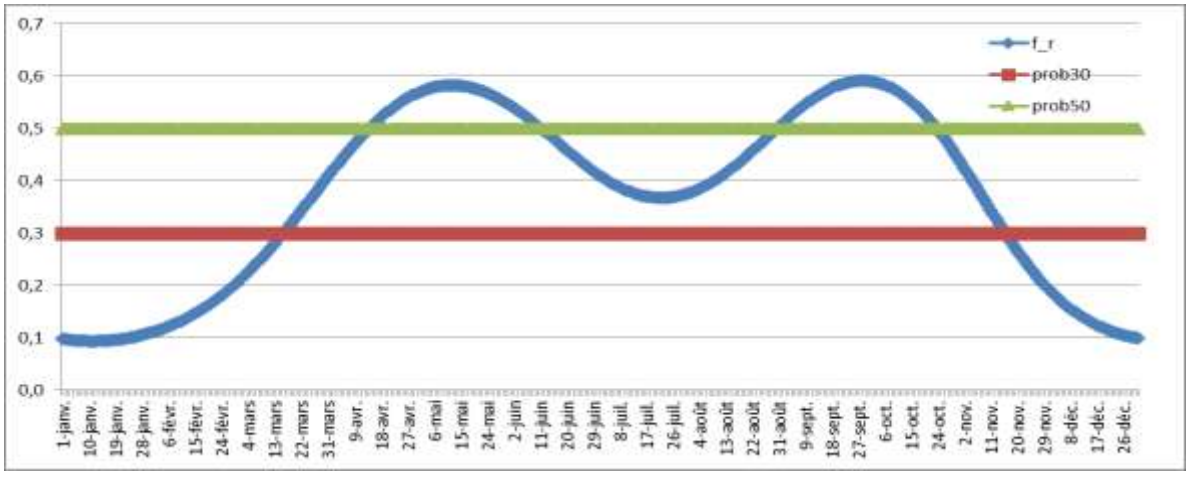
Après quatre mois quasi secs, les mois de mai et juin ont concentré l'essentiel des précipitations durant cette année particulièrement déficitaire en pluie (**Tableau II**).

Tableau II: Bulletin météorologique du mois de mai 2017 dans la ville de Gagnoa

Date des précipitations	Intensité des pluies journalières (mm)
2 mai 2017	0,4
3 mai 2017	3,5
4 mai 2017	1,6
7 mai 2017	1,4
8 mai 2017	6,7
11 mai 2017	0,8
12 mai 2017	7,6
14 mai 2017	28,4
18 mai 2017	8,6
20 mai 2017	18,2
TOTAL	**77,2**

Source : SODEXAM, Gagnoa, 2018.

Avant les événements des 25, 26, 27 et 28 juin 2017, la pluie est tombée de manière continue. En effet, les 23, 24 et 25 juin les pluies commencent avec des averses de 12,6 mm. Le 24 juin, 58,2 mm ; le 25 juin, 0,3 mm et le 26 juin, 5,6 mm. Au total, c'est 76,7 mm de pluie cumulée en quatre jours, soit l'équivalent des quantités de pluie précipitées en mai 2017 (77.2 mm). La recherche de la période probable des pluies intenses de 1981 à 2016, nous a permis de sonder les événements exceptionnels sur 365 jours. À partir de la base de données de la SODEXAM, les résultats montrent que la probabilité d'occurrence des pluies journalières extrêmes de plus de 50 mm d'eau de pluie, survient un jour sur trois du 13 mars au 20 novembre. Cependant, la probabilité d'occurrence des pluies extrêmes journalières qui surviennent deux jours sur trois avec une hauteur d'eau précipitée de plus de 70 mm commence du 27 avril au 29 juin et du 9 septembre au 2 novembre (**Figure 5**).



source : SODEXAM 2020

Figure 5: Probabilité et période d'occurrence des pluies journalières intenses à Gagnoa

La maîtrise de ces périodes probables permet de prévenir les catastrophes liées aux obstacles qui empêchent le drainage des eaux pluviales dans les caniveaux, les canaux et sous les ponts de la ville. Ces pluies intenses ont entraîné des crues à l'origine de la

pollution des eaux de puits jamais vues de mémoire d'homme, selon deux modalités, à savoir : le débordement des rivières et le ruissellement des eaux de surface.

3-2-2. La pollution par le débordement des rivières dans la ville de Gagnoa

Le débordement des rivières affluents du *Guéri* à savoir le *Drébot, le Daplo, le Gnousso* en ville, débuta dans la nuit du 24 au 25 juin 2017. La décrue continua jusqu'au 28 juin. Par conséquence, la ville s'est retrouvée coupée du monde, avec l'obstruction par les eaux de surface de la nationale A2 (Divo-Gagnoa) et de l'axe (Gagnoa-San-Pedro). Au sommet de la crue, le pont CAT a été submergé de 1,25 m au-dessus du bitume, en raison du rétrécissement du lit de la rivière *Gnousso* (**Planche 2**).



Planches photo 2: Rétrécissement de la zone d'extension des crues de la rivière *Gnousso* par des magasins et retrait de l'eau après trois jours d'inondation au quartier Soleil-Garahio (Crédit photo MONDESIR TK, 29 juin 2017).

Environ 447 lots ont été inondés et huit fermes de porcs et de poulets ont été ravagées. Les puits, véritables réserves d'eau potables des ménages pauvres ont été submergés lors de la crue des 26, 27,28 et 29 juin 2017 dans la ville de Gagnoa (**Photo 3**).



Planche photo 3 : Submersion des puits domestiques et retrait des eaux après débordement des rivières *Gnousso et Kouablo* à Zapata, Garahio, à Gagnoa 30 juin 2017 (Crédit photo MONDESIR TK, 2017)

Comme le montre ces photos, le débordement des rivières a noyé les puits domestiques et a également entraîné la percolation latérale des polluants des rivières vers les sommets. Plus le quartier est densifié, plus les fosses sèches de latrine sont saturées d'eau. En principe, les latrines à fosses sèches non étanches ne doivent pas contenir de l'eau, au risque de polluer la nappe phréatique (R. FRANCEY, et al, 1996, p. 26). Et pourtant, durant les inondations, les latrines à fosses sèches ont été en contact direct avec le niveau piézométrique des nappes. Ce qui a occasionné le transfert des polluants fécaux vers les eaux souterraines, d'autant plus que 88 % des systèmes d'assainissement autonomes des parcelles sont des latrines à fosses sèches non étanches, selon le RGPH 2014. Quant aux fosses septiques, elles sont régulièrement saturées d'eaux vannes qui ruissèlent dans les ruelles des quartiers densifiés comme Garahio, Odiennékourani, Dioulabougou, Bougoudougou (Dar-Es-Salam), Delbo et Sokoura. Ce système fait de fosses étanches reliées à une fosse de trop-plein (puisard) représente 12% des systèmes d'assainissement autonome de la ville. En cas de vidange, les boues sont déposées dans les rues ou à proximité des puits (**Planche 4**).



Planche photo 4 : Latrine à fosse sèche non-étanche à moins de 5 mètres du puits, au quartier Soleil et boues de vidange des latrines à proximité des habitations à Garahio, avant les inondations (Crédit photo, MONDESIR TK, 2018)

Le débordement latéral des rivières sature les fosses de latrine dans les sols latéritiques et entraîne l'inversion des écoulements anisotropes des eaux souterraines. Par conséquent, les polluants fécaux sont mis en contact avec les eaux de puits par capillarité.

3-2-3. La pollution des eaux de puits par ruissellement et submersion pendant les inondations

Au deuxième jour des averses, l'intensité des pluies a accéléré la vitesse du ruissellement des eaux pluviales. Par conséquent, les eaux de ruissellement en crue ont entraîné dans leur passage, les déchets organiques de surface, en provenance des fermes d'élevage, des enclos de bovins, des tas de boues de vidange et des déchets des ordures ménagères. Ces effluents issus des déchets en surface ont été transportés par infiltration dans les puits. Au demeurant, d'autres modalités de transfert des polluants sont observés lors des pluies extrêmes. Il s'agit des infiltrations d'eau de surface observées à travers des incisions à la base des puits érodés. Ces orifices sont creusés, lorsque les puits sont sur des parcelles où

il n'y a pas de clôtures. Cette érosion des sols a également permis l'infiltration des matières organiques (**Planche 5**).



Planche Photo 5 : Erosion à la base et infiltration d'eau de ruissellement dans les puits domestiques à Odienekourani et Cocoville (Crédit Photo MONDESIR TK, 2018)

Ces deux formes ou mécanismes de transfert des polluants sont responsables de la dégradation de la qualité bactériologique des eaux de puits dans la ville de Gagnoa. La cartographie des ilots inondés dans la ville de Gagnoa se présente ainsi (**Figure 6**)

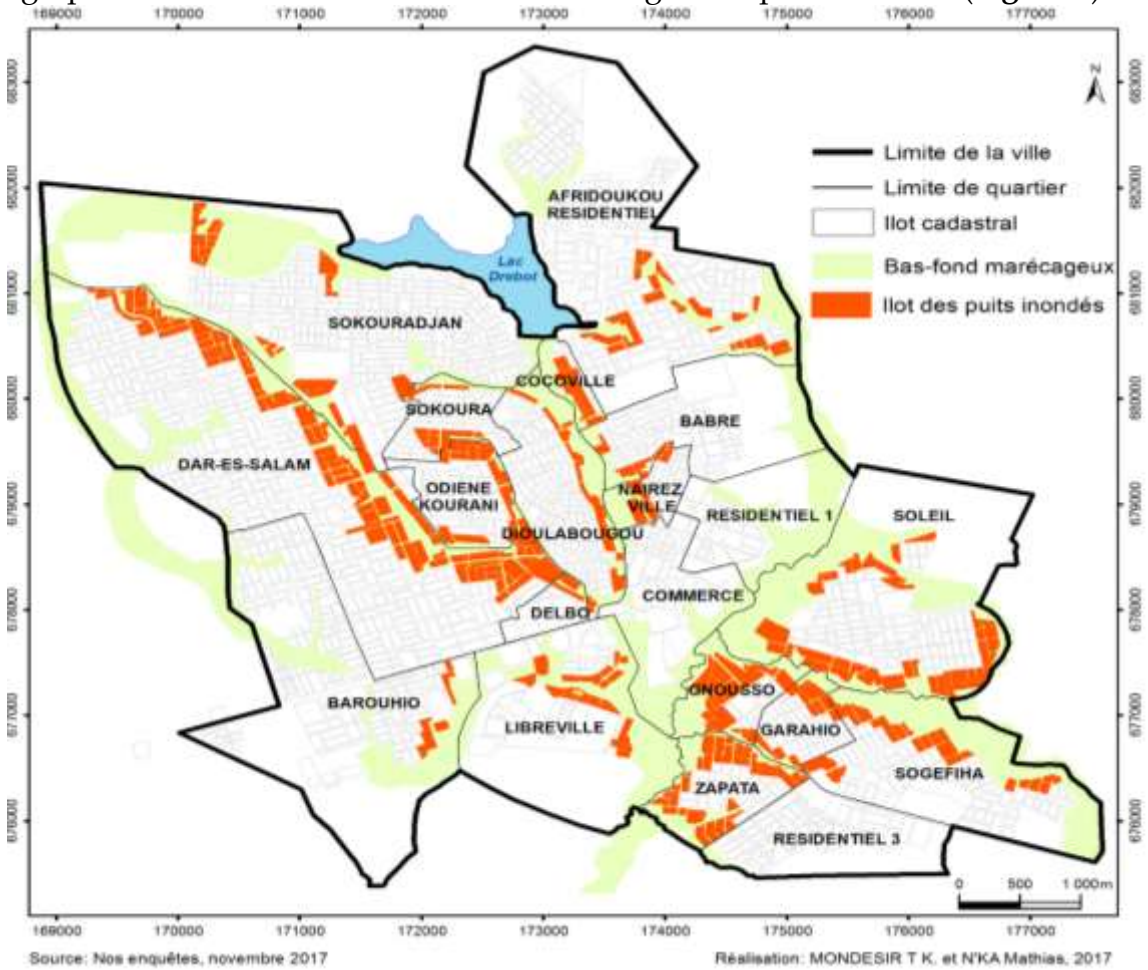


Figure 6: Cartographie des ilots inondés par le débordement des rivières dans la ville de Gagnoa

3-3. Qualités bactériologiques des eaux de puits inondés et effets sanitaires probables

3-3-1. Inondation et qualités bactériologiques des eaux de puits dans la ville de Gagnoa

Après les inondations, les analyses de contrôle qualité des eaux de puits inondés, effectuées les 24, 25, 26 et 28 avril 2018 en période post-inondation, ont été réparties par segment topographique du site urbain de Gagnoa. Le tableau suivant présente les échantillons d'eau analysés dans les lits moyens des rivières (bas-fonds), avec les charges bactériennes par quartiers, selon le niveau de protection du puits et les numéros des échantillons. Notons que dans le cadre de cette étude, les trois types de coliformes à savoir : les coliformes totaux, coliformes thermo-tolérants et les *Escherichia coli* ont été additionnés ensemble pour donner un seul résultat. Il en est de même pour les streptocoques fécaux (**Tableau III**).

Tableau III : Coliformes et streptocoques fécaux des puits de bas-fonds dans la ville de Gagnoa

NOMS des Quartiers	Echantillons Analysés	Protection des puits	Bactéries Coliformes Q(100ml/UFC)	Bactéries Streptocoques Q(100ml/UFC)
Garahio	P1	Non Protégé	15600	710
Garahio	P2	Non Protégé	8200	480
Garahio	P3	Non Protégé	10900	745
Zapata	P4	Non Protégé	18800	750
Soleil	P5	Non Protégé	26100	735
Soleil	P6	Protégé	10800	00
Odiénekorani	P7	Non Protégé	36700	745
Odiénekorani	P8	Non Protégé	17600	690
Daresalam	P9	Non Protégé	10000	690
Daresalam	P10	Non Protégé	6600	605
Dioulabougou	P11	Non Protégé	29402	1500
Dioulabougou	P12	Protégé	11600	55
Libreville	P13	Non Protégé	44800	680
Libreville	P14	Non Protégé	20000	510
Delbo	P15	Protégé	10800	00
Delbo	P16	Non Protégé	9500	750
Babré	P17	Non Protégé	10300	698
Babré	P18	Protégé	10800	140
Cocoville	P19	Protégé	4400	190
Cocoville	P20	Non Protégé	4000	635
Cocoville	P21	Non Protégé	4600	745
TOTAL	21	5/21 protégés	321502	11448
Moyenne			15309	545

Source : analyse bactériologique *in situ*, Avril, 2018

À l'observation, on note que les 21 puits de bas-fonds ont une charge moyenne de 15 000 coliformes (*Escherichia coli*, coliformes totaux et coliformes thermo-tolérants) et 545 streptocoques fécaux. Par contre, les puits épargnés habituellement par la montée des eaux et contaminés de manière exceptionnelle lors de l'épisode des 25, 26, 27 et 28 juin 2017 ont également été pollués, mais en faible quantité (Tableau IV).

Tableau IV : Coliformes et streptocoques fécaux des puits d'interfluves dans la ville de Gagnoa

NOMS des Quartiers	Echantillons Analysés	Protection des puits	Bactéries Coliformes Q(100ml/UFC)	Bactéries Streptocoques Q(100ml/UFC)
Daresalam	P22	Non Protégé	345	725
Daresalam	P23	Protégé	640	25
Daresalam	P24	Non Protégé	1910	365
Daresalam	P25	Non Protégé	560	640
Dioulabougou	P26	Protégé	320	280
Dioulabougou	P27	Protégé	120	690
Soleil	P28	Non Protégé	570	710
Soleil	P29	Non Protégé	870	175
Cocoville	P30	Non Protégé	20	20
Odiénekorani	P31	Non Protégé	535	360
Odiénekorani	P32	Non Protégé	1050	620
Babré	P33	Protégé	45	25
Cocoville	P34	Non Protégé	120	25
Garahio	P35	Non Protégé	220	20
Babré	P36	Protégé	190	25
Total	15	9 /15 protégés	7590	4705
Moyenne			506	313

Source : analyse bactériologique *in situ* de terrain Avril, 2018

L'observation du tableau révèle que, sur 15 puits des zones d'interfluves touchées par la montée des eaux, la moyenne des coliformes fécaux est de 506 UFC/100 ml et celle des streptocoques fécaux de 313 UFC/100 ml. Dans les deux cas, la présence concomitante des deux traces de pollution, ancienne et récente, confirme la vulnérabilité des eaux de puits à des infiltrations de matières organiques d'origine fécale, lors des inondations. Cette infiltration des agents pathogènes bactériens est susceptible de causer des maladies potentiellement dangereuses pour les populations.

3-3-2. Les effets sanitaires de la pollution bactériennes des puits post-inondation

Après la phase de décrue, le retrait des eaux de surface s'accompagne du dépôt des impuretés charriées lors des infiltrations dans les eaux de puits. Elles sont potentiellement dangereuses pour la santé des populations (**Tableau V**).

Tableau V : Quelques agents pathogènes bactériens et leurs maladies hydriques associées

Agents bactériens	**Maladies hydriques**
Vibrio cholerae	Choléra
Shigella spp. *Escherichia coli*	Dysenterie bacillaire
Salmonella typhi	Fièvre typhoïde
Salmonella paratyphi A, B et C	Fièvre paratyphoïde
Shigella, *Proteus* spp., *Salmonella*	Gastro-entérite
Escherichia coli, *enterococcus faecalis*	Entérite ou diarrhée infectieuse
Leptospira spp.	Leptospirose
Pasteurella (*Brucella* ou *Francisella*)	Tularémie (rare), Brucellose

Source : OMS, 1972, p. 57

Pour les autres pathologies hydriques, les virus, protozoaires et parasites, peuvent également emprunter les mêmes mécanismes de transfert des polluants et infecter les eaux souterraines.

4-DISCUSSION

Nos résultats ont montré que les inondations, impactent les qualités bactériologiques des eaux des nappes phréatiques. Voilà pourquoi, certains auteurs affirment que les inondations peuvent polluer les sources d'eau potable et les sécheresses compromettent la qualité et la quantité de l'eau, tout en accroissant la vulnérabilité des populations aux maladies hydriques (S. MOORE, R. COLWELL, 2025, p. 70). Cette position est renforcée par des organismes en charge du climat. En effet, l'Organisation de la Météorologie Mondiale, confirme qu'en cas d'évènements climatiques extrêmes, l'eau est nécessaire à l'hygiène et à la santé, mais peut aussi transporter des matières polluantes et propager des infections d'origine hydrique (OMM, 2012, p. 13). L'exemple des crues éclaires qui font suite aux grandes sécheresses, entraînent très souvent des inondations par débordement (M. BUSSETTINI, 2018, p. 66).

En cas d'inondation, d'autres auteurs insistent sur le contexte de manque de moyens adéquats d'assainissement qui entraîne une contamination microbienne généralisée de l'eau de boisson (M. H. GLANZ, 2018, p. 4). Cette réalité est concrète en milieu urbain et notable dans les quartiers densifiés des vieilles villes, dont les systèmes d'assainissement autonome sont saturés. Voilà pourquoi l'OMS affirme que l'augmentation de la pollution biologique de l'eau est favorisée par un contexte de congestion et de développement d'habitats inappropriés (OMS, 1994, p. 9). Car, une évacuation correcte des excrétas et des déchets ménagers, ainsi qu'une bonne conception des puits et des systèmes d'assainissement, permet de préserver les nappes phréatiques des matières polluantes pathogènes. Ce résultat a été révélé également aux États-Unis. En effet, l'évacuation correcte et hygiénique des excrétas dans 78 villes a été suivie du déclin de la fièvre typhoïde, très largement attribuable à la protection des eaux souterraines. Car, entre 1910 et 1946, une réduction du taux de mortalité de 20,54 à 0,5 pour 100 000 habitants a été

observée dans la population, après l'amélioration des systèmes d'assainissement et de l'amélioration de l'accès à l'eau potable (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 1950, p. 1).

Plus récemment, la corrélation entre les pics d'inondation et les pics de pollution bactérienne à *Leptospira interrogans*, *sérovar Copenhageni*, responsable de la Leptospirose, a été démontrée en Amérique latine du fait des effets des changements climatiques. En effet, P. PAROLA et D. RAOULT (2003, p. 102) ont révélé que, dans la région de Salvador au Brésil, 326 patients fébriles examinés en mars et en novembre 1996 étaient porteurs de la Leptospirose à hauteur de 59 %. La bactérie a contaminé les hommes lors des crues d'eau de surface. L'étude a confirmé que ces eaux étaient infectées par les rats (*Rattus rattus*), au cours de l'épidémie qui a suivi les inondations, après des pluies diluviennes de plus de 75 mm de pluie par semaine, durant quatre semaines lors des phases d'El Niño.

Ce résultat rejoint ceux de M. AHEARN et al. (2005, p. 36), qui ont documenté une augmentation de 300 % des cas de Gastro-entérites dans les trois semaines pendant la décrue des inondations survenues en Inde en 2005. De même, une autre étude de A. C. MULDER et al. (2019, p.1) réalisée sur 699 ménages, soit 1 656 participants des zones inondées, durant l'été 2015, dans 60 localités des Pays-Bas, a permis d'établir le lien entre l'exposition aux eaux de crues pluviales et les Gastro-entérites aiguës (GEA), ainsi que les infections respiratoires aiguës (IRA). L'étude montre que la probabilité d'épisodes de fortes pluies entraine non seulement des inondations pluviales urbaines, mais a également une incidence sur les maladies bactériologiques. En effet, l'étude a montré que deux semaines après les inondations, le contact avec les eaux en crue était significativement associé à la Gastroentérite Aigue (OR à 4,2, IC à 95 % : 2,1–8,4) et à l'IRA (OR à 3,3, IC à 95 % : 2,0–5,4). Ces inondations se manifestent souvent par des crues dans les rues et/ou des débordements de réseaux d'égouts unitaires, entraînant la contamination des eaux de surface par divers agents pathogènes gastro-intestinaux et/ou respiratoires. L'augmentation de la fréquence des inondations représente donc un risque sanitaire pour les personnes exposées. Ces données et résultats de recherche confirment que les inondations présentent des risques sanitaires avérés et durables pour les populations.

CONCLUSION

Les pluies diluviennes des 23, 24 et 25 juin 2017 qui ont entrainées des crues dans la ville de Gagnoa, ont été accompagnées d'une forte pollution bactériologique des eaux de puits domestiques. Les mécanismes de transfert des polluants d'origine fécale, responsables de cette pollution bactérienne sont : le débordement des rivières et le ruissellement. Ces risques climatiques sont amplifiés à cause des occupations anarchiques des zones inconstructibles et d'une mauvaise gestion des déchets solides et des ordures sous les ponts de la ville. Les populations multiplient les risques sanitaires hydriques parce qu'elles consomment directement ces eaux, sans aucune forme de traitement des puits.

Nos résultats confirment l'hypothèse selon laquelle, la mauvaise hygiène des systèmes d'assainissement autonome défectueux des ménages entraîne une infiltration des

bactéries d'origine fécale dans les eaux de puits pendant les événements climatiques extrêmes. C'est pourquoi, il faut renforcer un contrôle strict de l'occupation des zones de bas-fonds. Il faut également promouvoir l'accès aux systèmes d'adduction d'eau potable, car ils sont plus sûrs que les eaux de puits sujettes aux inondations périodiques à l'origine des maladies hydriques de toutes sortes.

REMERCIEMENTS
Nous tenons à remercier l'Institut National de l'Hygiène Publique (INHP) de Côte d'Ivoire, avec à sa tête Feu le Professeur BENIE Bi Vroh qui a autorisé que le personnel technique du Laboratoire d'Analyse Biologique, nous accompagne pour les besoins de notre étude. Merci à Monsieur ANGBAKOU dont l'expertise technique nous a aidé pour les analyses bactériologiques *in situ*.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1950). *Water Quality and Treatment*, 2e édition, New York.

AHERN, Mike, SARI KOVATS, R., WILKINSON, Paul., FEW, Roger., MATTHIES, Franziska (2005) *« Global health Impacts of floods: epidemiologic Evidence »*, In Epidemiologic Reviews, Volume 27, Issue 1, July 2005, Pages 36–46,

ANDO, M., CARCAVALLO, R., EPSTEIN, P. R., AINES, A., JENDRITZKY, G., KALKSTEIN, L. S., et al. (1996**).** *Climate Change and Human Health*, in Mc MICHAEL A. J., HAINES A., SLOOFF R., KOVATS S. (éds.), WHO, Genève, Suisse, 297 pages.

BESSAT Fréderic, AMAT-ROZE Jean Marie (2003) « *Climat : évolution et incidences »*, pp 13-27 *In Changements climatiques, maladies infectieuses et allergiques*. *Édition scientifique Elsevier Masson*, Collection annuelle de l'Institut Pasteur / Actualités, volume 16, 8 septembre 2003, 147 pages.

FRANCEYS R., PICKFORD J. et REED R. (1995). *Guide de l'assainissement individuel*. Publication de l'OMS, Genève, Suisse, 259 pages.

ISENBERG, H. D., GOLDBERG, D. et SAMPSON, J. T. (1970**).** Référence publiée dans *Applied Microbiology*, n° 20, pages 433–436.

MONDÉSIR Thierry Koraba (2021). *Stress hydrique et risques des maladies liées à l'eau dans les villes de Gagnoa et Oumé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire).* Thèse de doctorat unique de Géographie physique et environnement, option Environnement-Santé, (Sous la Direction de ANOH Kouassi Paul), Institut de Géographie Tropicale (IGT), UFR SHS, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 476 pages.

MOORE Sandy et COLWELL Rita (2025). « *Changement climatique et résurgence des maladies d'origine hydrique : focus sur l'Afrique subsaharienne* ». In La REVUE DE L'INSTITUT VEOLIA – *Facts Report*, n° 27, Dossier thématique « Santé et environnement : comprendre, anticiper, agir face au dérèglement climatique », pp. 66–71.

MULDER Annemieke Christine, PIJNACKER Roan, DE MAN Heleen, et al (2019): « "*Sickenin' in the rain"– increased risk of gastro-intestinal and respiratory infections after urban pluvial flooding in a population-based cross-sectional study in the Netherlands* », In BMC INFECTIOUS DISEASES (2019) 19:377, 12 pages

OMM (2012). « *Le temps, le climat et l'eau, moteurs de notre avenir* ». Bulletin de l'Organisation Météorologique Mondiale, Numéro 1084, Genève, Suisse, 35 pages.

OMM (2018). « *L'eau pour le développement durable* ». Numéro spécial, Bulletin de l'Organisation Météorologique Mondiale, volume 67(1), Genève, Suisse, 73 pages.

OMS (1972). *Risques pour la santé du fait de l'environnement*. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse, 410 pages.

OMS (1994). *La crise de la santé en milieu urbain : les stratégies de la santé pour tous face à une urbanisation galopante*. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse, 113 pages.

PAROLA, Phillip., et RAOULT, Didier., (2003) « *Changement Climatiques et maladies bactériennes* », pp 91-108, in Changements climatiques, maladies infectieuses et allergiques. *Édition scientifique Elsevier Masson*, Collection annuelle de l'Institut Pasteur / Actualités, volume 16, 8 septembre 2003, 147 pages.

RODHAIN, F**. (**2003). Changements climatiques, maladies infectieuses et allergiques. *Édition scientifique Elsevier Masson*, Collection annuelle de l'Institut Pasteur / Actualités, volume 16, 8 septembre 2003, 147 pages.

SODEXAM (2018). *État du climat de l'année 2017 en Côte d'Ivoire*. Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique, Direction de la Météorologie Nationale, Abidjan, 25 pages.

SOGED (2016). *Étude d'actualisation du schéma directeur d'assainissement de la ville de Gagnoa*. ONAD, Ministère de la Salubrité urbaine et de l'Assainissement, juillet 2016, 121 pages.