

Simulation du fonctionnement du réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP) des localités de Bébouo-Sibouo, Zaliouhan et Krébléguhé dans la Sous-Préfecture de Gadouan (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) à l'aide du logiciel Epanet

[Simulation of the performance of the Potable Water Supply (PWS) network in the localities of Bébouo-Sibouo, Zaliouhan and Krébléguhé in the Gadouan Sub-Prefecture (Central-Western Côte d'Ivoire) using Epanet]

Arthur Brice KONAN-WAIDHET, Affoué Berthe YAO, Gla Blaise OUEDE, Tanoh Jean-Jacques KOUA, and Brou DIBI

Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Environnement, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The drinking water needs of the populations of the localities of Bébouo-sibouo, Zaliouhan and Krébleguhé are increasingly accentuated and constitute one of the major problems in this area of west-central Côte d'Ivoire. The aim of this work is to strengthen the drinking water supply system in order to meet the needs of the population. To solve this problem, the methodology was based on simulating the operation of existing and complementary networks using Epanet software. The results show that the population's needs in 2019 are estimated at 400,032 m³/d and 685,406 m³/d in 2031. The pipes selected after sizing are all in PVC with nominal diameters of 10 bar, and comprise a PVC DN 200 mm for delivery, a PVC DN 90 mm for supply pipes (main pipe) and another PVC DN 53 mm for distribution. Simulation of the network shows that there is a malfunction in the existing system, which can be explained by the low or even zero pressures recorded only after 1 h of distribution throughout the existing network. Even if pressure results are good on the complementary network, low flow velocities are recorded on the whole network. As a result, further boreholes need to be drilled to boost production. This model will therefore be retained and used to support the implementation of this water supply project.

KEYWORDS: Network sizing, water supply, Epanet, hydraulic simulation, Côte d'Ivoire.

RESUME: Les besoins en eau potable des populations des localités de Bébouo-sibouo, Zaliouhan et Krébleguhé sont de plus en plus accentués et constitue l'un des problèmes majeurs dans cette zone du Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Ce travail a pour objectif de renforcer le système d'approvisionnement en eau potable afin de répondre aux besoins des populations. Pour résoudre ce problème, la méthodologie a s'est appuyée sur la simulation du fonctionnement des réseaux existant et complémentaire à l'aide du logiciel Epanet. Les résultats révèlent que les besoins de la population en 2019 sont estimés à 400,032 m³/j et 685,406 m³/j en 2031. Aussi, les conduites retenues après dimensionnement sont toutes en PVC de diamètres nominales 10 bars et composées d'un PVC DN 200 mm pour le refoulement, un PVC DN 90 mm pour les conduites d'aménés (conduite principale) et d'un autre PVC DN 53 mm pour la distribution. La simulation du réseau montre qu'il y'a un dysfonctionnement du système existant qui s'explique par les pressions faibles, voire nulles enregistrées seulement après 1 h de distribution sur tout l'ensemble du réseau existant. Même si les résultats de pressions sont bons sur le réseau complémentaire, on enregistre sur l'ensemble du réseau des faibles vitesses d'écoulement. Ainsi, d'autres forages doivent être réalisés pour renforcer la production. Ce modèle sera donc retenu et servira de support pour la réalisation de ce projet d'AEP.

MOTS-CLEFS: Dimensionnement de réseau, AEP, Epanet, simulation hydraulique, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'accès à l'eau douce, en qualité et quantité en suffisantes, est essentiel pour tous les aspects de la vie et pour le développement durable. Le droit fondamental à l'eau et à l'assainissement est largement reconnu par les États du monde [1]. Cependant, bien que renouvelable, cette ressource devient de plus en plus rare et menacée par les activités anthropiques et les changements climatiques. Selon [2], la raréfaction de l'eau affecte plus de 40% de la population mondiale, une proportion inquiétante qui risque de s'aggraver en raison de la consommation toujours croissante de l'eau et les changements climatiques. Ainsi, l'épuisement des ressources en eau potable est un problème touchant tous les continents. En Côte d'Ivoire, la production et la distribution de l'eau potable sont assurées par la Société de Distribution de l'Eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) à travers deux principales sources: les eaux de surface et les eaux souterraines. L'apport de cette ressource aux populations nécessite la réalisation d'infrastructures hydrauliques telles que les réseaux d'alimentation en eau potable [3]. Selon [4], la gestion technique de tels réseaux a pour principal objectif de livrer aux consommateurs une eau répondant aux normes de la qualité, à un prix acceptable et avec une continuité de service sans défaut. De tels objectifs exigent une connaissance précise du réseau, des infrastructures, de son fonctionnement hydraulique. Ces exigences nécessitent de bien dimensionner le réseau mais également de le maintenir dans un état satisfaisant. Aussi, la maîtrise en quantité et en qualité, de l'alimentation en eau potable (AEP), impose des investigations précises dans le système de distribution pour prétendre à une gestion performante en termes de technicité, d'administration et de planification [5]. Or, les exploitants des réseaux d'AEP se trouvent généralement confrontés à la difficulté de connaître avec précision leur réseau compte tenu de la diversité (généralement de multiples tranches de travaux réalisées selon des techniques différentes et sur plusieurs années) de son étendue et des difficultés d'accès [4]. Ainsi, l'un des objectifs du millénaire pour le développement visé par les pays en développement en général et en particulier la Côte d'Ivoire, est la réduction du nombre de populations n'ayant pas accès à l'eau potable. Pourtant l'atteinte de ces objectifs est confrontée à plusieurs problèmes dont l'efficacité des infrastructures hydrauliques à faire face à la demande en eau croissante de la population. C'est le cas du réseau d'alimentation des localités de Bébouo-Sibouo, Zaliouhan et Kréblégué dans la sous-préfecture de Gadouan. Depuis l'an 2000, les populations de Bébouo-Sibouo, Zaliouhan et Krébleghué s'alimentent grâce à un système d'Hydraulique humaine, cependant la quantité de l'eau fournie reste insatisfaisante. Ainsi, cette population se trouve contrainte à s'alimenter par les eaux de puits et marigots pouvant provoquer des maladies hydriques. Face à ce constat, d'importants investissements doivent être déployés, beaucoup d'innovations doivent être réalisées, et de nouveaux outils plus performants doivent être utilisés. Ainsi, des travaux réalisés par certains auteurs cités dans [4] et [5], ont montré que la complexité de la gestion classique des réseaux d'eau potable et la difficulté éprouvée par les gestionnaires de prévoir les phénomènes hydrauliques et de qualité de l'eau qui s'y déroulent, ont fait de la gestion informatisée une opération indispensable, rendue possible grâce aux progrès de l'informatique. C'est dans ce contexte que cette étude s'appuie sur des nouveaux outils tels que les logiciels des systèmes d'informations géographiques, et de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau dans des réseaux sous pressions. Dans le but d'améliorer la qualité du service rendue aux populations des sous-préfecture de Gadouan, un travail de collecte et de rassemblement des informations liées à la localisation géographique du réseau d'AEP sur un même support informatique, devient alors nécessaire. C'est dans ce contexte que s'inscrit le travail qui a pour objectif de renforcer le système d'approvisionnement en eau potable afin de répondre aux besoins des populations.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est constituée des localités de Bébouo-sibouo, Zaliouhan et Krébleghué appartenant à la Sous-Préfecture de Gadouan et se situe dans le département de Daloa qui est le Chef-lieu de région du Haut-Sassandra (Figure 1). La zone d'étude est comprise entre les longitudes 6°15' et 6°41' W et les latitudes 6°71' et 6°89' N avec une population estimée à 57 470 habitants [6]. La sous-préfecture de Gadouan est sous l'influence du climat équatorial de transition atténué (climat baouléen) qui est caractérisé par deux saisons: une saison des pluies de mars à novembre avec une diminution des précipitations en juillet-août et une saison sèche très marquée de décembre à février comportant quelques précipitations isolées [7]. La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée sur la période 1990-2015 vaut 1 238,2 mm. La tendance des températures moyennes mensuelles varie globalement entre 24 °C et 28 °C, soit une amplitude thermique de 4 °C [8]. Les formations géologiques du département de Daloa (Figure 3), appartiennent principalement au socle précambrien (précambrien moyen) et se regroupent en deux grandes entités que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques ([9], [10]). Le sous-sol de la zone d'étude est constitué de deux types d'aquifères: les aquifères d'altérites et de fissures fonctionnant comme un aquifère composite. Les aquifères d'altérites constituent des réservoirs fortement capacitifs [11]. Ils reçoivent en premier les eaux météorites et les réserves sont captées par les puits paysans [12]. Leur réserve varie quantitativement avec l'épaisseur d'altération, la porosité, la capacité d'emmagasinement et l'intensité de l'infiltration.

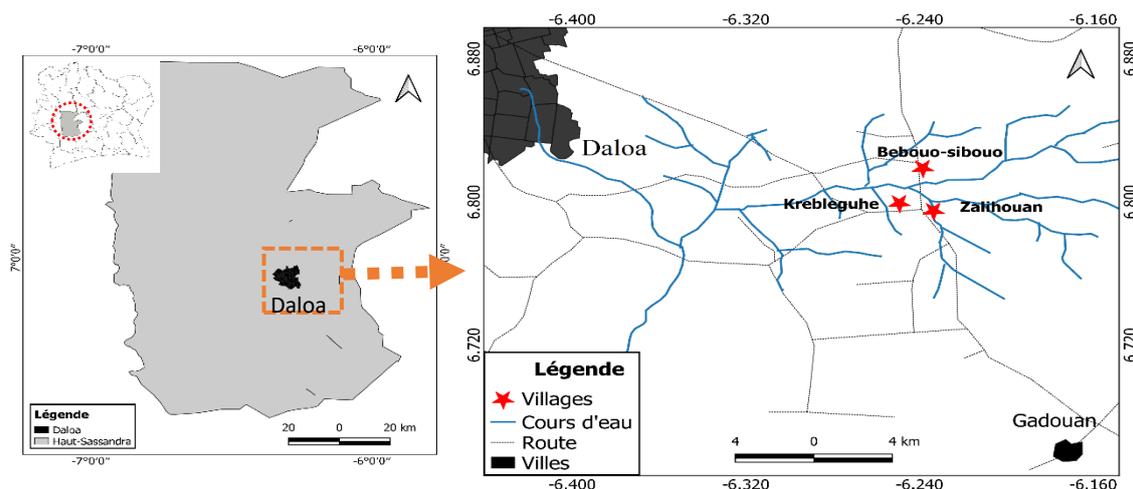


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

2.2 MATERIEL

Le matériel est constitué de données et de logiciels.

Plusieurs données ont été utilisées à savoir: les données cartographiques, les cotes topographiques et les données sur la population. En effet, la carte de la sous-préfecture de Gadouan au 1/10000 a été utilisée pour servir de guide sur le terrain ainsi que la carte du plan des localités réalisée par la Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire (SODECI) de Daloa (fichier AutoCad). Les cotes topographiques proviennent d'une étude topographique réalisée sur l'itinéraire des conduites PVC. Ces données sont constituées des caractéristiques du réseau à savoir les cotes topographiques de chaque point de jonction (nœud) du réseau et les longueurs des conduites existantes. Pour ce qui est des données sur la population, elles concernent essentiellement les informations sur les abonnés potentiels, le nombre d'habitants par maison, besoins de la population raccordée, besoins de la population non raccordée, besoins collectifs et la durée de fonctionnement de la pompe par jour. Toutes ces informations sont fournies par la Direction des Etudes et Travaux de la SODECI.

Pour traiter toutes ces données, plusieurs logiciels ont été utilisés; ce sont:

- Le logiciel autocad 2016 pour visualiser les schémas du réseau ayant l'extension DWG;
- Le logiciel Global Mapper pour convertir le fichier DWG en fichier KML/KMZ;
- Le logiciel Google Earth Pro pour visualiser notre zone d'étude et vérifier l'exactitude du géoréférencement en superposant le schéma du réseau à l'image de la zone donnée par Google Earth Pro et faire le renforcement du réseau en traçant d'autres conduites;
- Le logiciel epacad pour convertir le fichier autocad en fichier Epanet sous l'extension INP/NET;
- Le logiciel Epanet pour simuler le réseau hydraulique et étudier le comportement de l'eau dans le réseau.

2.3 METHODES

2.3.1 ESTIMATION DE LA CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE

Une bonne conception de projet commence par l'estimation des différents besoins que l'agglomération peut exiger ([13], [14]). Il est nécessaire de connaître la population des localités concernées à l'horizon du projet. Dans le cadre de cette étude les systèmes d'AEP seront étudiés jusqu'à l'horizon N+10 ans. La population des différentes localités a été estimée sur la base des données démographiques des études de recensement 2014 de la région, car les données ont été collectés en 2019. Le taux d'accroissement de la région selon le RGPH 2014 est de 2.6%. La population à l'horizon de l'année n peut être évaluée approximativement par l'équation 1 [15].

$$P_n = P_0 (1 + T_a)^n \quad (\text{Eq. 1})$$

Avec:

- P_n : population future prise à l'horizon considéré;
- P_0 population de l'année 0 de référence (habitant);

- **Ta**: taux d'accroissement;
- **n**: nombres d'années séparant l'année de référence à l'horizon considéré.

Nous avons adopté $\alpha = 2.6\%$ et $P_0 = 14\ 816$ habitants, sur quoi, nous avons estimé la croissance démographique de ces localités jusqu'à l'horizon 2031.

2.3.2 ESTIMATION DES BESOINS EN EAU DE LA POPULATION

Pour réaliser une étude hydraulique, il est impératif de connaître les besoins en eau de la population à desservir en tenant compte de la répartition actuelle et future [16]. La demande en eau en 2019 et en 2031 est calculée sur la base des consommations ou des demandes moyennes. Cette présentation permet d'évaluer l'évolution et d'anticiper la mobilisation de nouvelles ressources en eau [17].

➤ Débit moyen journalier

Afin d'estimer la consommation moyenne journalière d'une agglomération, il est nécessaire de calculer les besoins en eau potable des différents secteurs existants et projetés. La demande en eau se détermine suivant la taille de la localité. La population de ces localités à l'horizon 2031 sera comprise entre 10 000 et 50 000 habitants. Les besoins en eau domestique est fixé à 35 L/jour/hab. Ces besoins domestiques sont estimés par la méthode classique (Équation 2).

$$Q_{jmoy} = \frac{P_n \times N}{1000} \quad (\text{Eq. 2})$$

Avec:

Q_{jmoy} : Débit moyen journalier en m^3/J ;

P_n : Nombre d'habitant à l'horizon n ;

N : Dotation hydraulique, c'est la consommation moyenne journalière par habitant (l/jour/habitant).

➤ Débit moyen horaire

Le débit moyen horaire se déduit du journalier. Le débit moyen horaire est le rapport du volume distribué par le temps de distribution. Dans notre cas, il s'agit de branchements privés et le temps de distribution a été fixé à 24h [18]. Ce débit s'obtient par l'équation 3.

$$Q_{hmoy} = \frac{Q_{jmoy}}{24} \quad (\text{Eq. 3})$$

Avec

Q_{hmoy} : Débit moyen horaire en m^3/h

2.3.3 DIAGNOSTIC DU RESEAU EXISTANT

Le diagnostic s'est déroulé à travers des visites de terrain afin de faire la reconnaissance du site d'étude. Pendant les visites une enquête à travers des entretiens à été réalisée avec les agents de la SODECI en charges de la gestion du réseau. Aussi des tests ont été effectués afin de comprendre le fonctionnement du système et en vue de déceler les défaillances. Pour vérifier le fonctionnement du réseau existant, la demande de la population en 2019 a été déterminée et comparée au débit de production du forage en service.

2.3.4 DIMENSIONNEMENT DU CHATEAU D'EAU ET DES CONDUITES

Les trois (3) localités seront alimentées par la seule force de la gravité à partir d'un point de raccordement au château d'eau. Aussi, un volume supplémentaire est-t-il prévu à travers la réalisation d'un nouveau forage pour pourvoir aux besoins de ces localités. Ainsi, l'évaluation du volume d'eau à desservir doit tenir compte de la variation de la demande. Afin d'alléger les coûts d'exploitation, le volume d'un château d'eaux en Côte d'Ivoire vaut 20 à 50 % de la consommation journalière de pointe [17]. Pour cette étude, le taux de 20% a été choisi selon le référentiel technique de l'ONEP. Cela permet d'établir l'équation du volume (Équation 4):

$$Vol = \frac{Q_{pj} \times 20}{100} \quad (\text{Eq. 4})$$

où, Vol = le volume du château d'eau et Q_{pj} = débit de pointe journalier

Outre le volume, le château d'eau doit assurer une pression minimale au sol en tout point du réseau. Cette hauteur est déterminée en fonction de la cote du terrain naturel [19].

Le réseau de refoulement a besoin d'être redimensionner. Le réseau de refoulement est la partie située entre la pompe et le réservoir. Le forage sera équipé d'une pompe qui va assurer le refoulement jusqu'au château. Le dimensionnement se fait avec le débit de production horaire en mètre cube par heure (m^3/s) à l'horizon de dimensionnement (2031). Les conduites d'adduction (forage-château) sont dimensionnées pour le transport des débits d'exploitation minimal prévisionnels du forage et du château d'eau. La détermination du diamètre intérieur théorique D_{th} est déterminée à partir des équations de Bedjaoui et Bresse et doit respecter les conditions suivantes: Vitesse comprise entre 0,3 m/s et 1,5 m/s; Perte de charge inférieure à 5 mm/m; Flamant est supérieur à la vitesse.

2.3.5 MODELISATION HYDRAULIQUE DU RESEAU D'EAU

Le modèle est basé sur une représentation schématique du réseau sous forme de nœuds et de tronçons. La modélisation hydraulique du système de distribution d'eau Potable a suivi les étapes classiques d'utilisation du logiciel EPANET [19]:

- Conception du réseau du système de distribution d'eau potable qui se définit comme est un ensemble de tuyaux, de nœuds (jonction de tuyaux), de pompes, de vannes, de bache et de réservoirs;
- Paramétrage des éléments du réseau de distribution d'eau. Pour chaque nœud du réseau, la demande de base (débits nodaux), l'altitude et le nom de la courbe de modulation ont été renseignés. De même que pour chaque conduite du réseau, la longueur et une rugosité estimée à 0,1 pour les conduites en Polychlorure de Vinyle (PVC) ont été intégré dans le modèle. L'altitude du radier (le volume minimal, la courbe du volume et les niveaux initial, minimal, maximal) ont aussi subi des réglages. Les diamètres des canalisations renseignées correspondent aux diamètres intérieurs des sections de diamètres nominaux choisies;
- Exécution de la simulation hydraulique. Nous avons simulé le fonctionnement du réseau afin de caler le modèle le mieux adapté pour l'exécution du projet. Les paramètres à prendre en compte sont les pressions aux différents nœuds et les vitesses d'écoulement dans les tronçons. D'après le contrat qui lie l'Etat à la SODECI, la pression minimale de service doit être supérieure ou égale à 1 bar soit 10 m et la vitesse doit être entre 0,3 m/s et 0,5 m/s dans les conduites de distributions et ne doit pas excéder 1,5 m/s pour le refoulement [18]. La simulation du réseau s'est effectuée à travers un scénario de courte durée. Le scénario court duré permet de voir le comportement du réseau en un instant donné (pendant 24h avec un intervalle de temps de 1h).

3 RESULTATS

3.1 ESTIMATION DES BESOINS DE LA POPULATION

Sachant que la consommation de l'eau varie au cours de la journée selon les habitudes des consommateurs, les besoins à satisfaire des populations se résument aux besoins à l'heure de pointe. De même, une consommation moyenne journalière doit être mobilisé pour couvrir les besoins en eau.

Le Tableau 1 récapitule les besoins domestiques des différentes localités de la zone d'étude avec leurs débits de pointe et journalier jusqu'en 2031:

- **Bébouo-Sibouo.** Pour une population de 4644 habitants en 2019, les besoins domestiques ont été estimés à 125,388 m^3/j avec un besoin journalier horaire de 8,716 m^3/h . En 2031, cette population croit et atteint 6318 hbts soit un taux augmentation de 26,50% par rapport à celle estimé en 2019. Les besoins domestiques pour l'année 2031 sont estimé à 214,812 m^3/j pour un taux d'augmentation de 41,63% par rapport à 2019.
- **Zaliouhan.** Pour une population de 7325 habitants en 2019, les besoins domestiques ont été estimés à 197,775 m^3/j avec un besoin journalier horaire de 13,749 m^3/h . En 2031, cette population croit et atteint 9967 hbts soit un taux augmentation de 26,50% par rapport à celle estimé en 2019. Les besoins domestiques pour l'année 2031 sont estimés à 338,878 m^3/j pour un taux d'augmentation de 41,63% par rapport à 2019.
- **Krébleguhé.** Pour une population de 2847 habitants en 2019, les besoins domestiques ont été estimés à 76,869 m^3/j avec un besoin journalier horaire de 5,343 m^3/h . En 2031, cette population croit et atteint 3874 hbts soit un taux augmentation de 26,50% par rapport à celle estimé en 2019. Les besoins domestiques pour l'année 2031 sont estimés à 131,716 m^3/j pour un taux d'augmentation de 41,63% par rapport à 2019.

Tableau 1. Récapitulatif des besoins domestique, des débits de pointe et journalier

Localité	Bebouo-Sibouo	Zaliouhan	Krébleguhé	Total
Année 2019				
Population	4644	7325	2847	14 816
Besoins domestiques (m ³ /j)	125, 388	197,775	76,869	400, 032
Besoin journalier de pointe (m ³ /h)	11, 985	18, 904	7,347	38, 236
Besoin journalier horaire (m ³ /h)	8, 716	13,749	5,343	27, 808
Année 2031				
Population	6318	9967	3874	20 159
Besoin domestique (m ³ /j)	214, 812	338, 878	131,716	685, 406
Besoin journalier de pointe (m ³ /h)	20, 533	32, 392	12,590	65, 515
Besoin journalier horaire (m ³ /h)	14, 933	23, 558	9,156	47, 647

Les résultats de déterminations des besoins ont révélé que les besoins varient en fonction des années et de la croissance démographique. Zaliouhan a le nombre de la population le plus élevé en 2019 et 2031 soit 49,44% de la population totale des trois localités. Ce résultat explique la forte demande enregistrée dans cette localité, soit 49,44% des besoins totaux.

3.2 DIAGNOSTIC DU RESEAU EXISTANT

Les localités de Bébouo-sibouo, Zaliouhan et Krébleguhé bénéficient d'un système d'Hydraulique Urbaine (HU) allant du forage réalisé en 2000 à Bébouo-Sibouo jusqu'au château situé à Zaliouhan puis distribué de façon gravitaire sur l'ensemble des localités. Le forage avait une production nominale de 192 m³/j soit 8 m³/h. Cependant, aujourd'hui le débit est estimé à 36 m³/j (Figure 2). La Figure 2-a montre la variation du débit en fonction du temps. Tandis que, le graphe de la Figure 2-b montre que seulement 8% des besoins des populations sont satisfaites par jour.

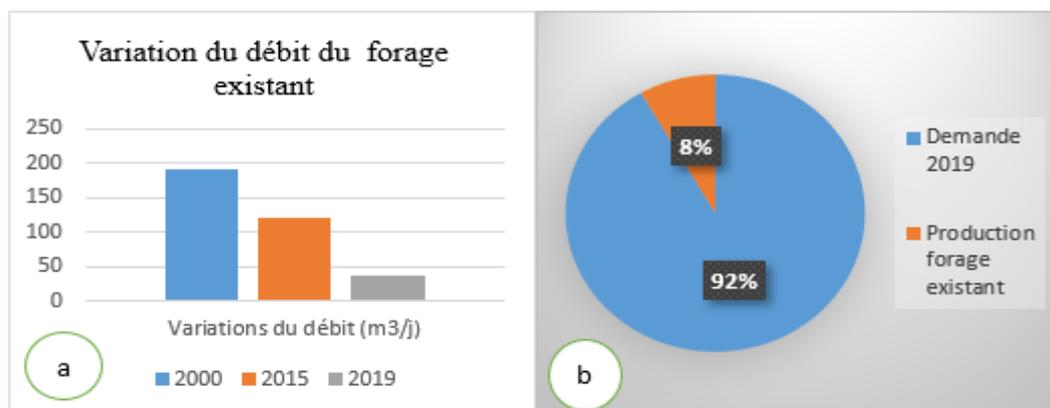


Fig. 2. Rapport entre le débit de production de l'ancien forage et la demande des populations en 2019.

Un nouveau forage a donc été réalisé cette fois-ci en 2019 à Zaliouhan en vue d'y renforcer le château. Le réseau est composé d'une conduite principale PVC DN 110 mm qui part du château pour alimenter Bébouo-sibouo et d'une autre conduite qui quitte château pour Krébleguhé. Une conduite secondaire est posée dans les trois (03) villages. Le réseau secondaire est composé de PVC DN 53 mm d'une longueur totale de 7,1 km soit une pose de 3,33 km à Zaliouhan; 2,1 km à Bébouo-Sibouo et 1,67 km à Krébleguhé. La figure 3 montre l'ossature du réseau existant avec l'extension prévue sur ce réseau.

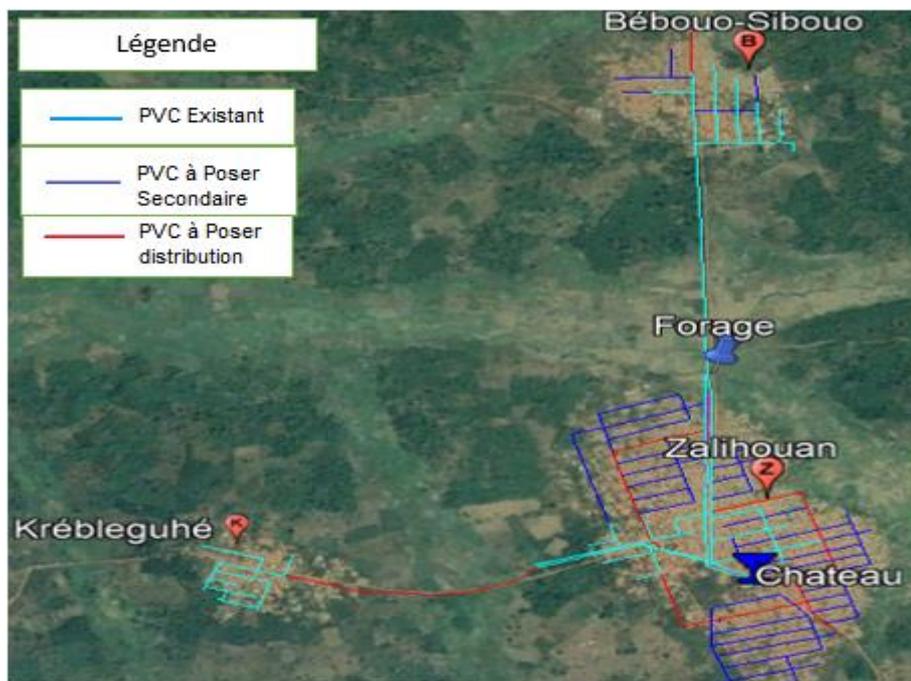


Fig. 3. Ossature du réseau d'AEP

Par ailleurs, le diagnostic a révélé quelques dysfonctionnements sur le réseau. Ainsi, la vanne n'est plus en état de fonctionnement, le regard où se trouve le point d'injection de l'hypochlorite est abimé et exposé au vandalisme.

Les graphes ci-dessous présentent les besoins des populations et le débit produit par le nouveau forage (Figure 4). En effet, le nouveau forage a un débit de production journalière de 103,4 m³/j contre une demande journalière de la population estimée à 400,032 m³/j en 2019 et 685,406 m³/j en 2031. Les graphes indiquent que seulement 21% des demandes seront comblées par jour en 2019 et 13% en 2031.

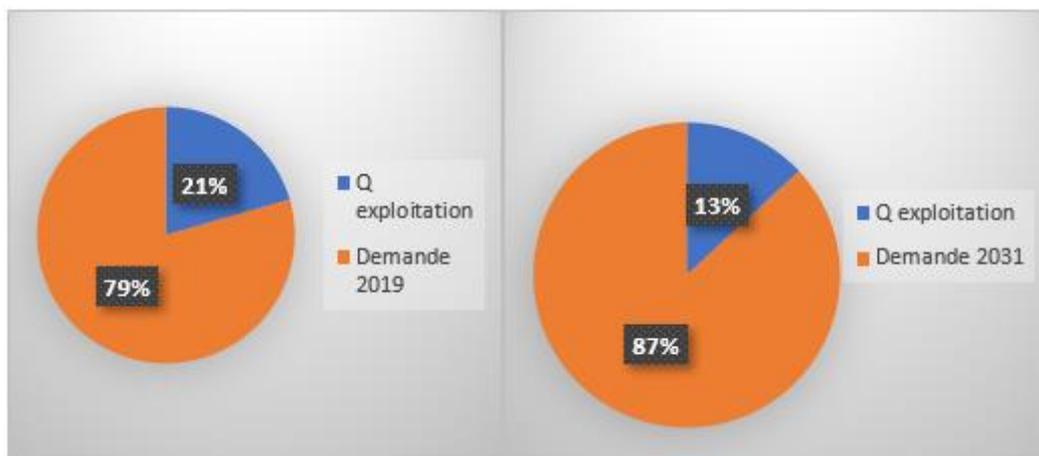


Fig. 4. Rapport de la demande sur la production du nouveau forage

3.3 DIMENSIONNEMENT DU CHATEAU ET DES CONDUITES

Afin d'assurer une desserte en continu de ces localités, le stockage de l'eau se fait à partir d'un château d'eau en béton armé de 50 m³ suspendu sur une tour de 19,5 m au-dessus du terrain naturel (TN) et est situé à Zaliouhan. Le château alimente ces localités par la seule force de la gravité à partir d'un point de raccordement de la SODECI. Le forage sera équipé d'une pompe qui va assurer le refoulement jusqu'au château. Le dimensionnement se fait avec le débit de production horaire en mètre cube par heure (m³/s) à

l'horizon de dimensionnement (2031). Les conduites d'adduction (forage-château) sont dimensionnées pour le transport des débits d'exploitation minimal prévisionnels du forage et du château d'eau. Les levées topographiques nous ont permis de déterminer la longueur de la conduite de refoulement (2200 m). Les conduites retenues après dimensionnement sont toutes des conduites PVC de diamètres nominaux 10 bars et composées d'une conduite PVC DN 200 mm pour le refoulement, une conduite PVC DN 90 mm pour les conduites d'amenés (conduite principale), et une conduite PVC DN 53 mm pour la distribution. De façon générale, les conditions de vitesses, pertes de charges et flamant sont respectées. Le diamètre théorique calculé avec la formule de Bresse est 202,35 mm soit un diamètre commercial de 200 mm. Le diamètre théorique déterminé par Bedjaoui est de 170,32 mm. La conduite retenue pour le refoulement est le PVC DN 200 mm car il n'existe pas de PVC correspondant au diamètre 180 mm.

3.4 SIMULATION HYDRAULIQUE

3.4.1 SIMULATION AVEC LES DONNEES DU RESEAU EXISTANT

➤ Analyse des pressions aux différents nœuds

Les Figures 5 et 6 présentent la distribution des pressions en m sur le réseau actuel estimée sous EPANET respectivement pendant une simulation de 01h et 24h. De façon générale les pressions varient de 0 à 40 m.

Pendant une heure de simulation (Figure 5), les pressions enregistrées à Bébouo-Sibouo sont très faibles avec des pressions négatives à quelques endroits. Nous avons enregistré de bonnes pressions allant de 30 m à plus de 40 m dans les ménages de Zalihouan et celles enregistrées à Krébleguhé varisent de 10 m à 20 m.

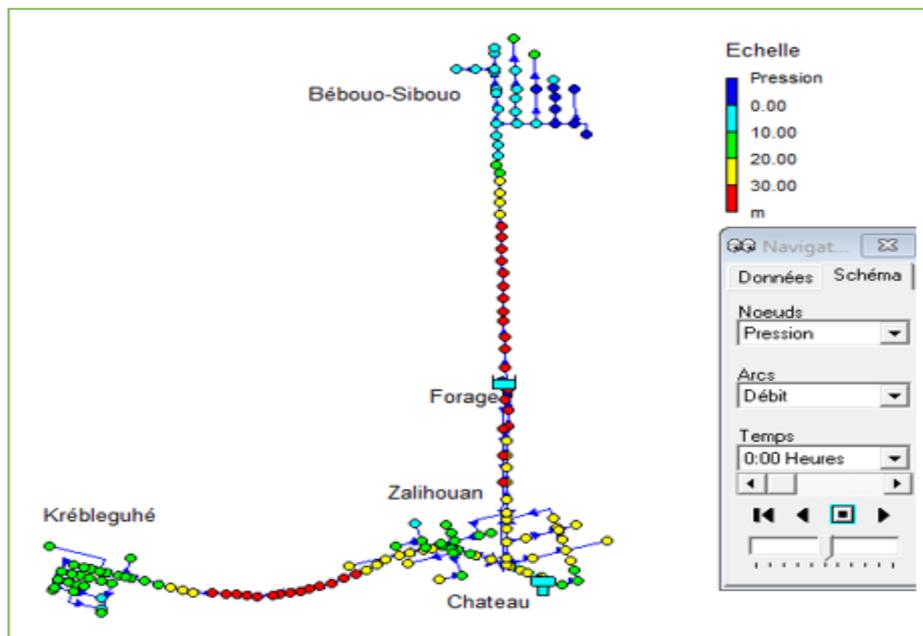


Fig. 5. Variation des pressions aux nœuds pendant 01h de simulation sur le réseau actuel

Pour la simulation pendant 24 h, la Figure 6 montre qu'après seulement 01h de stimulation le système se déconnecte, les pressions dans toutes les trois localités sont négatives (pressions inférieures aux pressions de service). Ces pressions se justifient par le fait que la demande des populations estimé en 2019 est de 400,032 m³/j. Cette demande est largement supérieure à la production du forage 36 m³/j. Le château d'eau se vide après 01h de service.

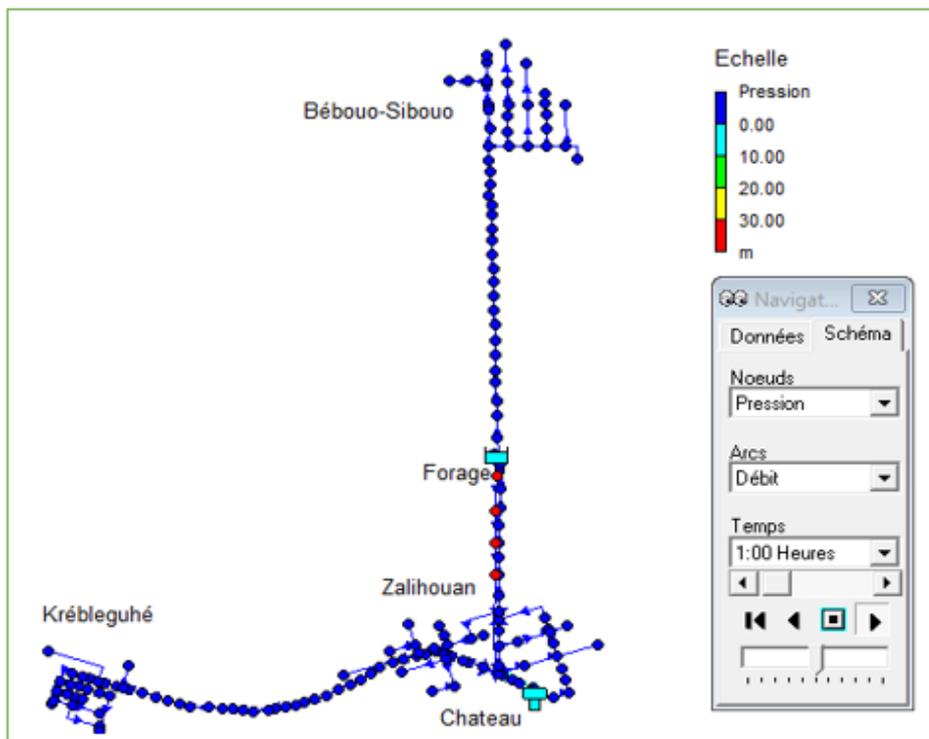


Fig. 6. Variation des pressions aux nœuds pendant 24h de stimulation sur le réseau actuel

➤ Analyse des vitesses dans les conduites

La Figure 7 montre la valeur des vitesses dans les conduites de distributions. La quasi-totalité des vitesses dans les conduites est faible et inférieure à 0,3 m/s (flèches rouges). Les vitesses supérieures ou égales à 0,3 m/s sont enregistrées dans les conduites principales de distribution (flèches noires).

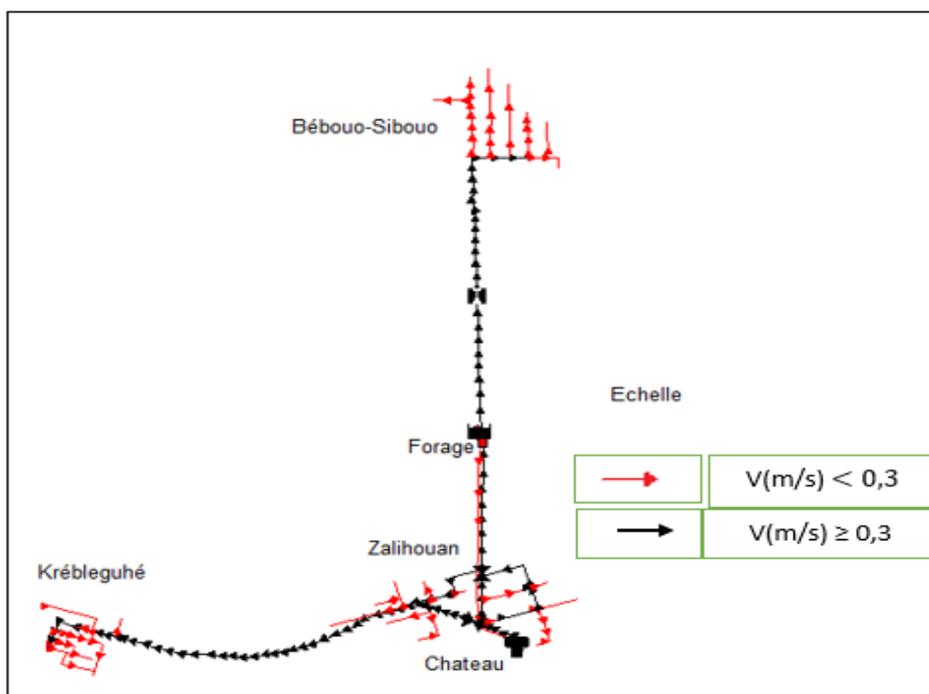


Fig. 7. Distribution des vitesses de l'écoulement sur le réseau actuel

3.4.2 SIMULATION AVEC LES DONNEES DU RESEAU RENFORCE A L'HORIZON 2031

➤ Vérification des pressions aux nœuds des conduites

La Figure 8 représente la variation des pressions enregistrées pendant 24h de fonctionnement sur le réseau renforcé. Les pressions sont comprises entre 10 m à 80 m sur tout le réseau.

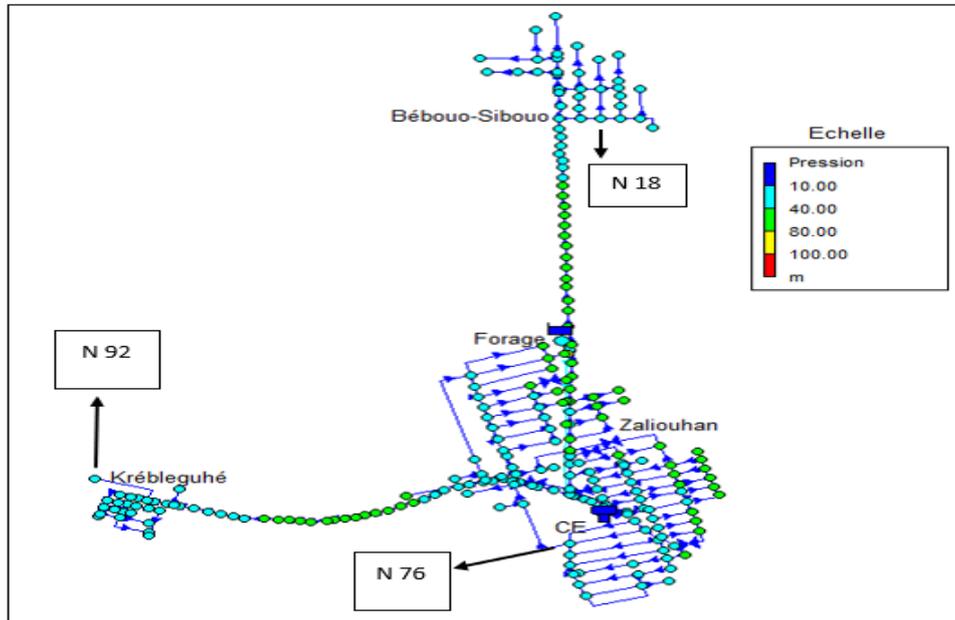


Fig. 8. Variation de pressions dans les nœuds pendant 24h sur le réseau renforcé

➤ Vérification des pressions aux cotes les plus élevées

Les nœuds 18, 76 et 92 avec les cotes respectives 247, 65 m pour Bébouo-sibouo, 250,02 m pour Krébleguhé et 254,76 pour Zaliouhan ont été choisis à cause de leurs altitudes élevées (Figure 9).

- Pour le nœud 18, la pression oscille entre 18,48 m et 20.00 m. La pression à ce nœud est atteinte à 23 h;
- Pour le nœud 76, la pression varie entre 22,70 m et 24, 23 m;
- Enfin au nœud 92, entre 00 h et 10h la pression augmente et atteint 24,10 m puis oscille jusqu'à 23 h où elle atteint sa valeur maximale 24,17 m.

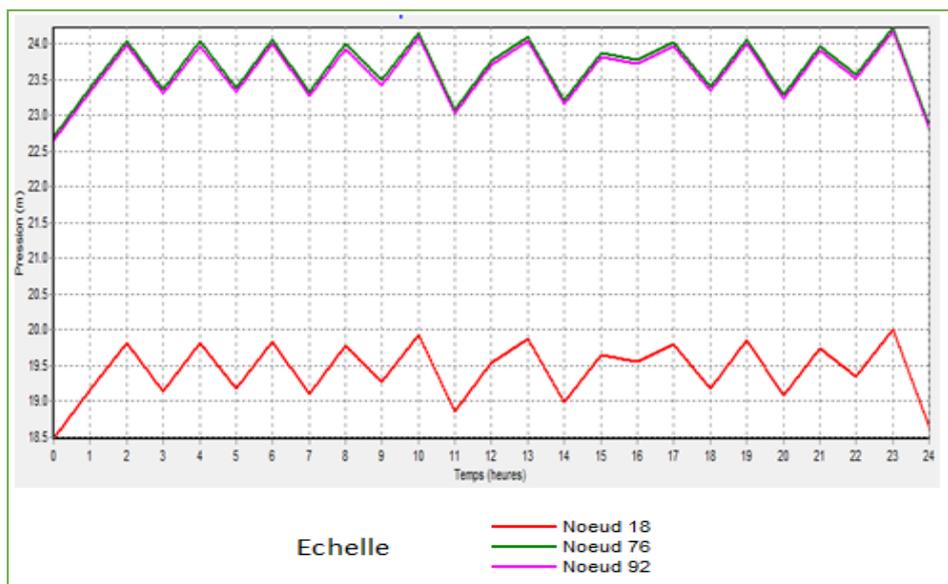


Fig. 9. Evolution de la pression aux nœuds 18, 76 et 92

➤ Vérification des vitesses dans les conduites

La Figure 10 présente les vitesses à l'intérieur des conduites. Ces vitesses sont pour la plupart inférieures à 0,3 m/s dans les trois localités. Ceci s'explique soit par le fait que les diamètres sont grands ou soit que les demandes au niveau des nœuds sont faibles.

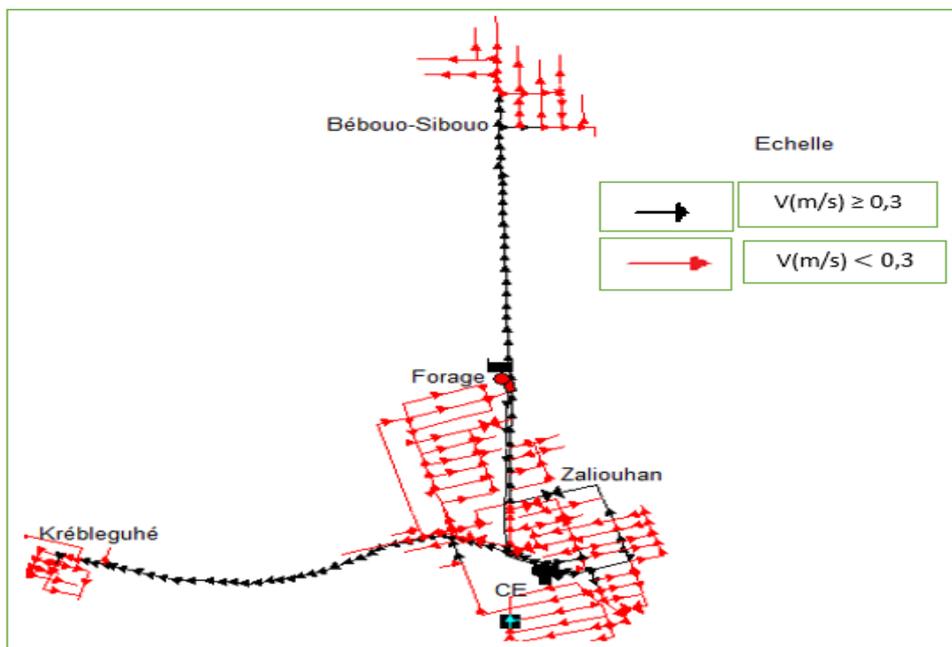


Fig. 10. Variation des vitesses de l'écoulement dans le réseau renforcé

4 DISCUSSION

L'accès à l'eau potable en Côte d'Ivoire demeure encore un enjeu majeur particulièrement pour les populations qui habitent les zones d'extension des villes [20]. La population des localités de Bébouo-Sibouo, Zaliouhan et Krébléguhé étant grandissante exige des besoins de plus en plus grands. En effet, l'étude a montré que la population globale est estimée à 14816 habitants en 2019 en prenant 2014 comme année de base (compte tenu du fait que les données ont été collectées au cours de l'année 2019) et 20159 habitants en 2031. Cela a

permis d'estimer le besoin de 2031 à 685,406 m³/j contre 400,032 m³/j produits. Les besoins horaires sont estimés à 27,809 m³/h en 2019 et 65,516 m³/h en 2031. Avec un tel besoin, le réseau d'alimentation en eau potable actuel de ces localités devrait subir des modifications. Notons que, le premier forage a été réalisé en 2000, son débit nominal était estimé à 192 m³/j soit 8 m³/h. Cependant, depuis 2015 la production du forage a chuté de façon drastique et est passé de 120 m³/j à 36 m³/j en 2019. Cela s'explique par le manque de suivi et d'entretien ou à la surexploitation du forage. En effet, le forage devrait être entretenu tous les 6 ans ou 10 ans environ afin de maintenir son bon fonctionnement [17]. Le diagnostic a montré en outre que le réseau d'AEP de ces localités est essentiellement constitué de canalisations en PVC. Le dimensionnement du réseau complémentaire a été fait avec les données des besoins estimés à l'horizon 2031. La conduite de refoulement a été calculée par le débit de pointe horaire en utilisant la formule de Bresse. Le diamètre déterminé par l'équation de Bresse a été retenu car il existe sur le marché [21]. Le diamètre ainsi obtenu est un DN200 mm avec une pression nominale PN10. Il faut noter que cette méthode de détermination de diamètre a été également utilisée par [22] dans la conception et le dimensionnement du système d'AEP simplifié à Boulsin au Burkina-Faso où il a obtenu un diamètre DN75 mm avec une PN10. De même, [23] à travers cette approche obtient un DN75 avec une PN10 dans le cadre des études d'avant-projet de réalisation d'une adduction d'eau potable à Sakoiné au Burkina-Faso. Epanet a été utilisé pour dimensionner les conduites de distributions. Les conduites calées sont de pressions nominale PN10 et de diamètres DN90 mm, DN75 mm et DN53 mm. En effet, Le logiciel permet de calculer le débit parcourant chaque tuyau, la pression à chacun des nœuds mais également le niveau de l'eau à n'importe quel moment de la journée et quelle que soit la période de l'année où on se situe [24]. Pour connaître le comportement du réseau hydraulique, l'étude s'est basée sur les variations de pressions et de vitesses pour le scénario courte durée. Ainsi, sur le réseau existant, il ressort que les pressions sont très faibles voire nulles après seulement 01h de fonctionnement. La simulation du réseau renforcé avec le nouveau forage réalisé, a enregistré des pressions qui varient de 10m à 80m. Ce résultat respecte la norme de pression de service qui est supérieur ou égale à 10 m [18]. Ces valeurs attestent du bon fonctionnement du réseau. Toutefois, sur l'ensemble du réseau, on enregistre de faibles valeurs de vitesses. Par ailleurs, l'ensemble des groupes électropompes n'a pas la puissance nécessaire pour assurer le refoulement. Ce qui justifie les pressions très faibles voire nulles à certains nœuds du réseau après la simulation réalisée avec le besoin actuel de la population. En outre, les faibles vitesses (inférieurs à 0,3 m/s) et débits en route enregistrés, montre que la continuité du service de la desserte en eau potable des populations est insatisfaisante. Ainsi, le manque d'eau dans les robinets de certains ménages et celui du réservoir de distribution indiquent que le réseau d'eau potable n'est pas saturé. Pour satisfaire la demande en eau potable des populations, il est capital de maintenir le réseau dans un état performant et durable. En effet, les réparations et les extensions dictées par l'urgence et non basées sur une conception étudiée sont une des causes de la discontinuité des services d'eau potable [5]. Les faibles vitesses enregistrées au cours de cette étude influencent fortement la charge hydraulique du réseau d'eau potable. La vitesse et le débit étant proportionnels, il nécessaire d'étendre le réseau sur la base des études hydrauliques préalables afin d'assurer la continuité du service de distribution d'eau dans les ménages [25]. Par ailleurs, il convient de signaler que la méthode de dimensionnement et de simulation de fonctionnement de réseau a été utilisé par plusieurs auteurs. En effet, [14] ont réalisés la conception générale d'un système d'alimentation en eau potable des trois villages: Ain Beida Heriche, Sebikhia et Sedari situés dans la commune d'Ain Beida Heriche (Wilaya de Mila) à partir des forages situés dans la région Hemama et ayants un débit total de 95 l/s. L'étude a été menée sur quatre étapes principales: la présentation du site et l'estimation des besoins, le dimensionnement des réservoirs de stockage et l'adduction, le choix des pompes et le dimensionnement du réseau de distribution et enfin la protection des canalisations. Ailleurs en Afrique du Nord, [26] ont utilisé cette approche dans le cadre d'une étude qui a concerné le plan d'occupation du sol 24B de la ville d'El -Bayadh afin de répondre aux besoins croissants de la population d'une manière quantitative et qualitative. Pour [16], l'objectif était de concevoir un modèle hydraulique permettant de connaître le fonctionnement actuel du réseau d'alimentation en eau potable (AEP) de la ville de Korhogo en Côte d'Ivoire, et faire des simulations correctives pour l'améliorer. Quant à [19], face aux difficultés d'accès à l'eau potable vécues par les populations de la localité de N'Zianouan en Côte d'Ivoire l'objectif était d'analyser le fonctionnement hydraulique du réseau de distribution d'eau potable et de proposer un aménagement adéquat pour améliorer la desserte en eau. En somme, la démarche méthodologique mise en place s'est appuyée sur le logiciel Epanet. Comme [3], la construction du modèle représentant le système d'adduction et de distribution d'eau sous le logiciel Epanet constitue un outil d'aide à la décision. Il a été créé à partir de la base de données cartographiques disponibles à cet effet. Ce modèle a permis de mieux comprendre le fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable des localités de Bebouo-Sibouo, Zalihouan et Kréblégué.

5 CONCLUSION

Le but de cette modélisation est de réaliser un diagnostic sur le fonctionnement actuel du réseau, et d'anticiper son fonctionnement futur. Le modèle a permis par la suite de simuler des changements sur le réseau, et de servir d'outil d'aide à la décision pour la SODECI. Le diagnostic du réseau a montré que le système d'alimentation en eau potable des localités de Bebouo-Sibouo, Zalihouan et Kréblégué a quelques déficits, notamment au niveau de la vanne qui n'est plus en état de fonctionnement, le regard où se trouve le point d'injection de l'hypochlorite est abîmé et exposé au vandalisme. De plus la production actuelle est insuffisante pour une bonne régulation de pression, vitesse et débit dans les canalisations car le besoin réel est largement supérieur à celui-ci. A l'horizon 2031, les besoins sont estimés à 685,406m³/j contre 400,032m³/j en 2019. Les données de consommations ont permis de dimensionner les conduites et introduire les différentes consommations aux nœuds. Les conduites retenues sont toutes des conduites PVC de pressions nominale

(PN10) et composées de PVC DN 200 mm pour le refoulement, DN90 mm pour les conduites principales d'amener et des DN 53 mm pour la distribution. Le logiciel Epanet a été utilisé pour simuler d'une part le réseau existant et d'autre part le réseau en extension. Cette simulation a relevé le comportement du réseau grâce aux différentes pressions et vitesses enregistrées. Pour le réseau existant, il en ressort qu'après une heure de distribution le château se vide. Pour le réseau complémentaire, les pressions varient de 10 m à 80 m sur 24 h de distribution, les pressions sont supérieures à la pression de service (10 m) prescrite par l'ONEP. Même si les résultats de pressions sont bons, on enregistre toutefois, sur l'ensemble du réseau de faibles valeurs de vitesses. Il apparaît opportun de demander à l'exploitant de faire régulièrement des purges sur le réseau afin d'éviter des dépôts dans les conduites. Il est aussi souhaitable de réaliser d'autres forages d'ici à 2031 pour accroître le volume d'eau. Cela nécessitera la construction d'un château d'eau de plus grande capacité (environ 150 m³) afin de réduire la durée de pompage et le coût de l'électricité.

REFERENCES

- [1] ONU-Eau. (2018). Rapport de synthèse 2018 sur l'objectif de développement durable 6 relatif à l'eau et à l'assainissement, Eau propre et Assainissement, p16, 2018.
- [2] J. Koné, P.A. Yéo, & Y.N. Koné, L'eau est une préoccupation majeure en Côte d'Ivoire, *Dépêche*, (218), p8, 2018.
- [3] Salet S.A.H. Etude de faisabilité pour l'amélioration du système d'AEP de la ville de Kisumu. Mémoire de Master, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, France, p42, 2018.
- [4] Blîndu I., Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques, Thèse de Doctorat Unique, Spécialité: Sciences et Génie et de l'Environnement, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et de l'Université Jean Monnet en cotutelle avec l'Université Technique de Moldavie, (Saint-Etienne, France), p306, 2004.
- [5] Abdelbaki C., Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG: Cas du Groupement Urbain de Tlemcen, Thèse de Doctorat Unique, Option: Mobilisation et Valorisation des Ressources en Eau, Spécialité: Hydraulique, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, Algérie, 208p, 2014.
- [6] INS & RGP, Répertoire des localités: Région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire), p47, 2014.
- [7] C.Y. Koffie-Bikpo, & K.S. Kra, La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire. Institut de Géographie Tropical, pp. 96–100, 2013.
- [8] Yapi A.R.C., Simulation de la demande en eau du bassin de la Lobo à Nibéhibé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire), Mémoire de master en Génie de l'eau et de l'Environnement, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Côte d'Ivoire, p63, 2018.
- [9] Ahimon O. A., Notice explicative de la carte géologique à 1/200 000, feuille de Daloa. Direction de la géologie, Abidjan, p28, 1990.
- [10] Delor C., Simeon Y., Vidal M., Zeade Z., Kone Y. et Adou M., Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, feuille Séguéla, Mémoire n°9 de la Direction des Mines et de la Géologie, Abidjan, p19, 1995.
- [11] T. Lasm, F. Kouamé., N. Soro, J.P.R. Jourda, & J. Biémi, Analyse géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie spatiale aéroportée et satellitaire. Application à la région de Man-Danané, *Revue ivoirienne des sciences et Technologie*, 5, pp. 135–154. 2004.
- [12] Dibi B., Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans le département d'Aboisso (Sud-est de la Côte d'Ivoire): Apport du SIG et de l'analyse multicritère, Thèse de doctorat unique, Université de Cocody (Côte d'Ivoire), p164, 2008.
- [13] Beaufile M., Fusion de données géoréférencées et développement de services interopérables pour l'estimation des besoins en eau à l'échelle des bassins versants, Thèse de Doctorat Du Conservatoire National Des Arts Et Métiers, école Doctorale Arts et Métiers Laboratoire de Géodésie et de Géomatique (France), p142, 2012.
- [14] Foughalia I. & Kahla M., Etude du réseau d'AEP des villages Ain Beida Hèche, Sedari et Sebikbia, Wilaya de Mila, Mémoire De Master, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia (Algérie), p103, 2015.
- [15] F. Pelletier et T. Spoorenberg, Aperçu sur les méthodes de projection, Atelier régional sur les méthodes de projection, Dakar, 28 Novembre, 2016.
- [16] F. M. Gnamba, O. J.G. Kpan, W. N'Zue, and M. Yeï, Modélisation hydraulique du réseau d'adduction d'eau potable (AEP) de la ville de Korhogo, *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 52 No. 1, pp. 161-177, 2020.
- [17] Zoungrana D., Cours d'approvisionnement en eau potable. 2iE (Burkina Faso), p 147, 2003.
- [18] ONEP, Referentiel technique du secteur de l'hydraulique humaine, p16, 2010.
- [19] K. A. Anoh, A. B. Yao, T. J-J. Koua, B. Dibi et K. L. Kouassi, Analyse du fonctionnement hydraulique du réseau de distribution d'eau potable de la localité de N'Zianouan, Sud de la Côte d'Ivoire, *Afrique SCIENCE* 18 (6), pp.1-9, 2020.
- [20] D.F. Awomon, M. Coulibaly, G.M. Niamke & D.S. Santos, La problématique de l'approvisionnement en eau potable et le développement des maladies à transmission hydrique dans les quartiers d'extension Orly de la ville de Daloa (Cote d'Ivoire), *Revue Espace, Territoires, Société et Santé*, 1 (2), pp. 91–108, 2018.
- [21] SOTICI, Document technique de tubes PVC-U pression, p18, 2018.

- [22] Soubeiga D., Conception et dimensionnement du système d'alimentation en eau potable simplifiée (AEPS) de la localité de Boulsin au Burkina Faso, Mémoire de master en hydraulique option : Infrastructures Hydrauliques, 2iE (Burkina Faso), p57, 2016.
- [23] Zoré B.M., Etude d'avant-projet détaillé de réalisation d'une adduction d'eau potable simplifiée dans la région du centre-ouest: cas du village de Sakoinché, Master d'ingénierie de l'eau et de l'environnement., 2iE (Burkina Faso), p81, 2017.
- [24] Imad, Hasnaoui, Modélisation du réseau d'eau potable du Syndicat AFMA et de Louvigné-du-Désert dans l'Ille-et-Vilaine. Ecole Nationale du Genie de l'eau et de l'Environnement, Sciences de l'ingénieur [physics], p54, 2013. [Online] Available: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01660723>.
- [25] Diawara F., Optimisation de la gestion du réseau de distribution d'eau potable de la station compacte de Missabougou à Bamako. Mémoire de Master, Option: Collectivités locales, Spécialités: Infrastructures et Réseaux Hydrauliques, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, (Ouagadougou, Burkina Faso), p74, 2015.
- [26] Idrici M.A. & Allem A., Alimentation en eau potable de la nouvelle ville W. El Bayad Pos 24 B, Mémoire de master en hydraulique option : hydraulique urbaine, Université Dr. Tahar Moulay Saida (Algérie), p95, 2017.