

Modélisation hydraulique du réseau d'adduction d'eau potable (AEP) de la ville de Korhogo

[Hydraulic modeling of drinking water network from the city of Korhogo]

Franck Maxime Gnamba¹, Oulaï Jean Gauthier Kpan¹, Wilfried N'Zue¹, and Yeï Marie Solange²

¹Département de Géosciences, UFR des Sciences Biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2020 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: This work aims to design a hydraulic model to know the current operation of the drinking water supply network for Korhogo city and to carry out corrective simulations to improve it. To achieve this, we used the EPANET software, to design and simulate the hydraulic model operation using the equal staffing method at each Request Node (DEN). In addition, based on an annual growth rate of 2.08%, the population of the city of Korhogo as well as the total water needs were estimated for different horizons and staffing scenarios. The results indicate that the overall average needs of the city in drinking water for an endowment 45 l/j/ hab. are respectively 678 m³/h for 2020, 750 m³/h for 2025, 830 m³/h for 2030, 1020 m³/h for 2040 and 1252 m³/h for 2050. The simulation of the network with the current injected flow which is 100 l/s, highlight some pressure and speed anomalies. Indeed, the network presents several negative or no conform pressures and unsatisfactory speeds (lower than 0.5 m/s and higher than 2 m/s). The network is apparently undersized and cannot meet the current and future needs of the city. Corrective simulations for optimal network operation until 2030 suggest positive pressures and speeds throughout the city with an endowment of 45 l/j/hab.

KEYWORDS: Hydraulic modeling, drinking water network, EPANET, Korhogo, Côte d'Ivoire.

RESUME: L'objectif de ce travail est de concevoir un modèle hydraulique permettant de connaître le fonctionnement actuel du réseau d'alimentation en eau potable (AEP) de la ville de Korhogo, et faire des simulations correctives pour l'améliorer. Pour y parvenir, nous avons utilisé le logiciel EPANET, pour concevoir et simuler le fonctionnement du modèle hydraulique en s'appuyant la méthode de dotation égale à chaque nœud de demande (DEN). En outre, en se basant sur un taux d'accroissement annuel de 2,08%, la population de la ville de Korhogo ainsi que les besoins totaux en eau ont été estimés pour différents horizons et scénarios de dotation. Les résultats indiquent que Les besoins moyens totaux de la ville en eau potable pour une dotation 45 l/j/hab. sont respectivement de 678 m³/h en 2020, 750 m³/h en 2025, 830 m³/h en 2030, 1020 m³/h en 2040 et 1252 m³/h en 2050. La simulation du réseau avec le débit actuel injecté qui est 100 l/s/ (soit une dotation d'environ 32 l/j/hab.) met en évidence de nombreuses anomalies de pressions et de vitesses. En effet, le réseau présente plusieurs conduites avec pressions faibles et des vitesses non satisfaisantes (inférieures à 0.5 m/s et supérieures à 2 m/s). Il est à priori, sous dimensionné et ne peut satisfaire les besoins actuels et futurs de la ville. Les simulations pour un fonctionnement optimal du réseau jusqu'en 2030 laissent entrevoir avec une dotation de 45 l/j/hab. des pressions et des vitesses positives dans la totalité de la ville.

MOTS-CLEFS: Modélisation hydraulique, réseau d'alimentation en eau potable, EPANET, Korhogo, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Parmi les facteurs de développement connus, l'eau occupe une place primordiale et joue un rôle crucial dans la vie des habitants, dans le développement économique et dans la survie des écosystèmes naturels [1]. Cependant, La pénurie d'eau est devenue un problème crucial vécu par toutes les sociétés, et en particulier, celles des pays en voie de développement [2]. Pour l'année 2050, il est prévu à prêt de 4 milliards de personnes n'ayant pas accès à l'eau [1]. Ainsi, la crise de l'eau dans le monde et la pénurie des ressources en eau exigent une bonne gestion de cette précieuse ressource. La bonne gestion passe en premier lieu par un réseau d'adduction d'eau

potable fiable avec un faible taux de fuite [3]. En effet, la gestion durable des réseaux de distribution d'eau potable est un enjeu majeur surtout pour les pays émergents où les rendements de réseau sont très faibles [4]. Une gestion non adaptée et insuffisamment planifiée crée des tensions difficilement maîtrisables dans la distribution de l'eau potable [5].

La Côte d'Ivoire souffre aujourd'hui d'un déficit chronique d'eau qui engendre des situations de pénurie, aussi bien en milieu urbain que rural [6]. Le déficit est estimé à 30% en milieu urbain et 50% en milieu rural. La ville de Korhogo qui sert de cadre pour cette étude n'échappe pas à cette réalité, c'est la plus grande ville de la région du Poro. Cette ville connaît une expansion démographique avec une population estimée à 245 000 habitants en 2014 [7]. Le nombre d'habitants ne cesse de croître, surtout avec l'ouverture de l'Université en 2012 qui reçoit chaque année des milliers d'étudiants. Le taux d'accroissement moyen annuel de la population est de 2,08%, ce qui suscite des besoins en eau domestique, industrielle et agricole de plus en plus élevés. Au cours de l'année 2016, la ville de Korhogo a connu une grave pénurie d'eau liée à l'assèchement de la principale ressource d'approvisionnement en eau brute (barrage de koko). Depuis lors, les efforts pour la mobilisation de la ressource en eau n'ont jamais cessé de progresser. Mais, cette croissance est insuffisante et inférieure à celle de la demande, entraînant un déficit entre le volume demandé et le volume fourni par les services d'eau, représenté par la SODECI (Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire). Selon la référence [8], des progrès remarquables nationaux, régionaux et mondiaux en matière d'approvisionnement en eau et d'assainissement ont été réalisés, depuis plusieurs décennies. Ces avancées se fondent sur des indicateurs préétablis et comportent davantage de critères relatifs aux niveaux des services et s'inscrivent dans les objectifs de développement durable ODD. Cependant, beaucoup reste à faire pour consolider les acquis en matière d'approvisionnement en eau. La modélisation des réseaux d'alimentation fait partie des avancements dans ce processus de développement. Elle est devenue un moyen incontournable pour la conception et la gestion des systèmes d'alimentation en eau. Force est donc de reconnaître aujourd'hui que la maîtrise, en quantité et en qualité de l'alimentation en eau potable (AEP), impose des études précises dans le système de distribution pour prétendre à une gestion performante [9]. En outre, une bonne connaissance des infrastructures et l'état du réseau sont les garants d'une gestion efficace du réseau et de ces services. La présente étude s'inscrit dans cette optique, elle a pour objectif de concevoir un modèle hydraulique pour connaître le fonctionnement actuel du réseau d'AEP de la ville de Korhogo, et proposer des simulations correctives pour l'améliorer à l'aide de l'environnement EPANET.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La ville de Korhogo est le chef-lieu du district des savanes qui est constitué des départements de Korhogo, Boundiali, Kouto, Tchologo, Ouangolodoudou et Tingréla. Ce district est situé au Nord de la Côte d'Ivoire avec une superficie de 40 323 km². Il fait frontière avec le Mali et le Burkina. Le département de Korhogo couvre une superficie de 12500 Km² compris entre 5°16 et 6°16 de longitude Ouest, puis 8°32 et 10°20 de latitude Nord. La ville de Korhogo a une superficie de 700 km². C'est la plus grande ville du district avec une population croissante estimée à 245.000 habitants en 2014 [7]. La région de Korhogo appartient au système climatique tropical de type soudano-sahélien dont le rythme des saisons est réglé par le déplacement du Front Intertropical (FIT). Le climat est caractérisé par deux saisons; une saison sèche (décembre à mai) et une saison de pluie (juin à novembre). Les précipitations annuelles moyennes, voisines de 1 300 mm à 1 400 mm, ne peuvent cependant combler un déficit hydrique cumulé de 700 mm crée par une évapotranspiration potentielle proche de 2 000 mm [10]. La température varie entre 20°C et 40°C. Au plan hydrologique, la ville de Korhogo est située à 42 km du fleuve Bandama sur la route de Ferkessédougou. Ce fleuve et le barrage de Koko constituent les sources principales d'approvisionnement en eau potable de la population urbaine. Le relief de la région est quelque peu accidenté. La majorité des côtes a une altitude comprise entre 310 et 350 mètres. Les altitudes des points du réseau (figure 2) sont situées entre 306 et 366 mètres.

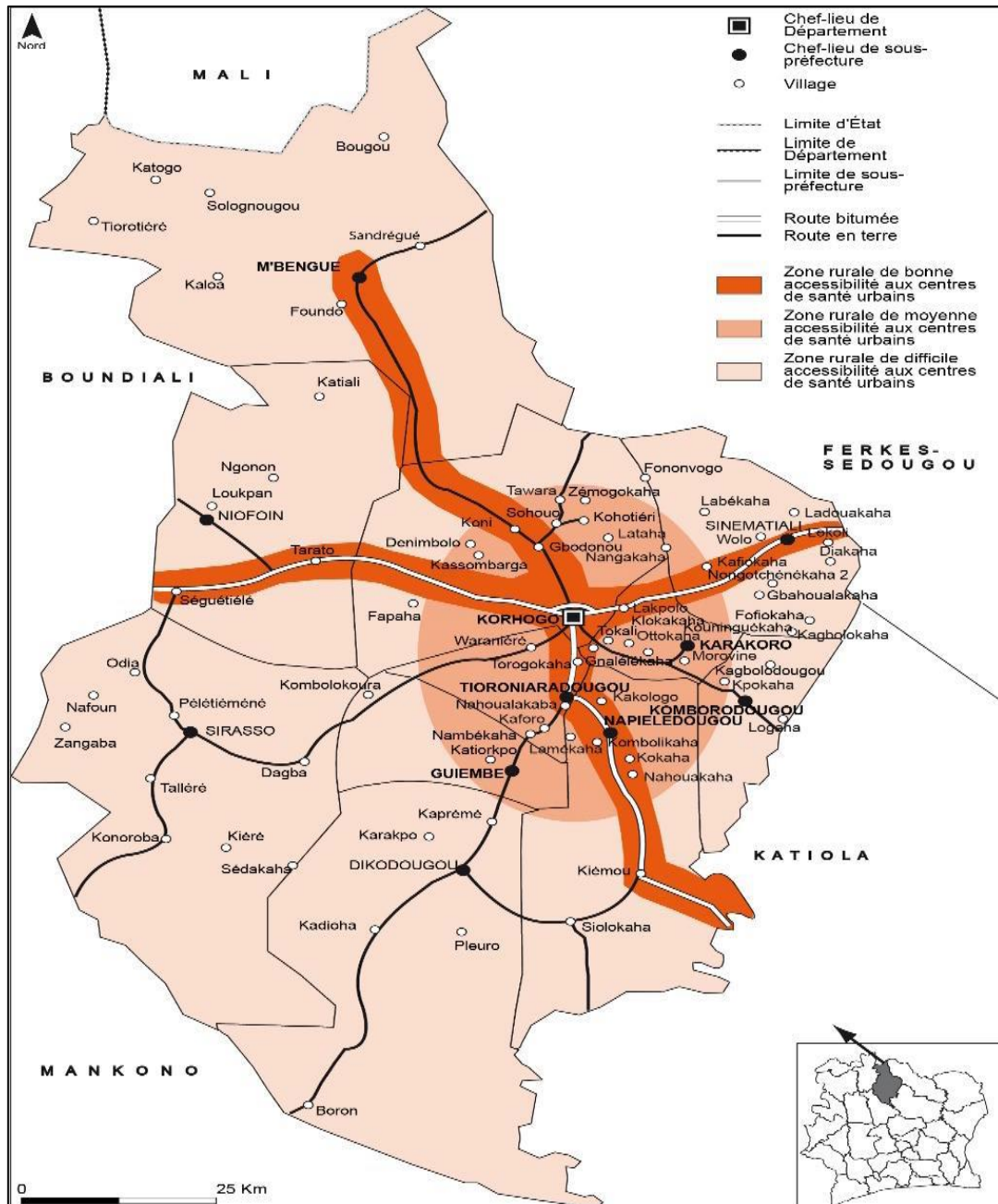


Fig. 1. Carte de localisation de la ville de Korhogo [11]

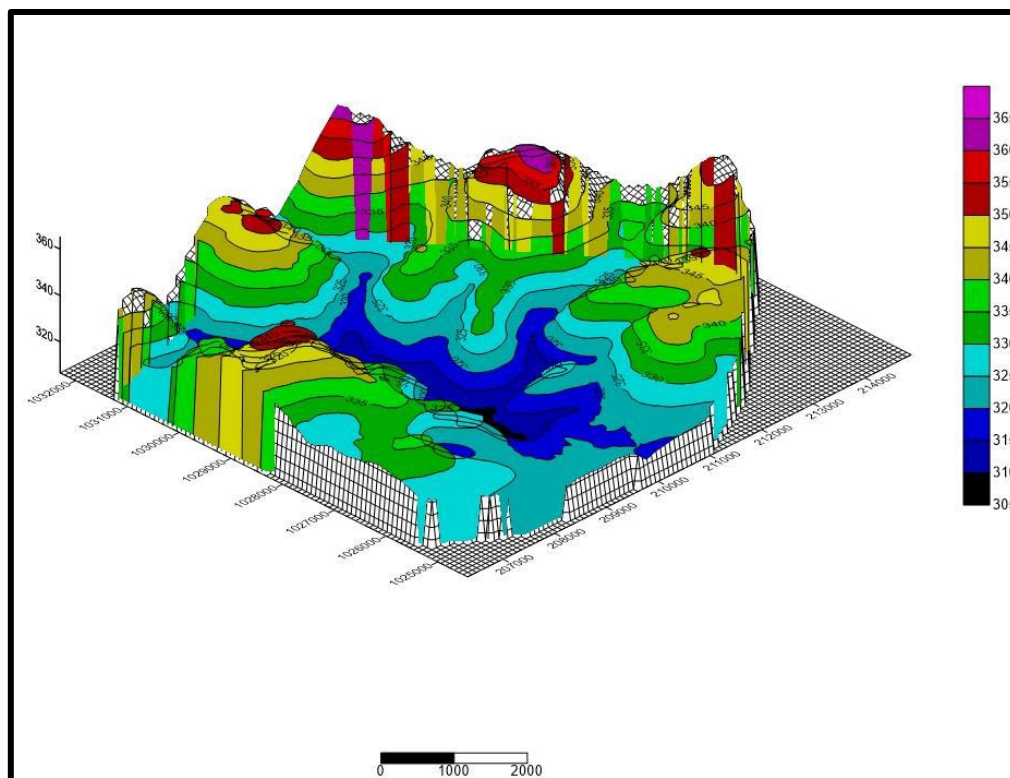


Fig. 2. Carte des levés Topographiques

2.2 MATERIEL

Pour mener cette étude, plusieurs données ont été utilisées, ce sont:

- Le plan de récolement d'ensemble du réseau AEP de Korhogo de l'année 2014 (fichier autocad et fichier physique);
- Les rapports des statistiques sur la population de la ville de Korhogo de l'année 2010 et 2014;
- Les cubages consommés de la direction régionale de la SODECI Korhogo, de 2012 à 2018;
- Les données de production d'eau potable du centre de la SODECI de Korhogo de l'année 2018;
- Les données de production de l'usine de traitement d'eau potable de la ville de Korhogo de Juillet 2018 à Décembre 2018;
- Les données de production de forages;
- Les réservoirs à usage AEP et leurs capacités.

2.3 METHODES

2.3.1 ESTIMATION DE LA CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE DE LA VILLE

Avant de projeter un réseau d'AEP, on est amené à étudier l'évolution de la population et d'analyser le développement urbain et socio-économique pour pouvoir finalement effectuer un choix en matière de satisfaction des besoins à court, moyen et long terme [12]. Pour l'estimation, deux scénarios sont pris en compte, à savoir la croissance faible et la croissance élevée. Les données démographiques de RGPH de 2014 ont été utilisées pour estimer la croissance de la population. Ces données entrent dans le cadre d'un scénario de faible croissance. La population à l'horizon de l'année n peut être évaluée approximativement par l'équation 1 [13].

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

Avec;

- P_n : La population à l'horizon de l'année n;
- P_0 : La population de l'année 0 de référence;
- α : Le taux d'accroissement de la population.

Nous avons adopté $\alpha = 2.08\%$ et $P_0 = 245\ 000$ habitants, sur quoi, nous avons estimé la croissance démographique de la ville jusqu'à l'horizon 2050.

2.3.2 ESTIMATION DES BESOINS MOYENS 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. Les besoins moyens de la ville ont été estimés pour différents scénarios de dotations et différents horizons (de 2020 à 2050).

- **Débit moyen journalier**

La consommation journalière moyenne totale est donnée par la formule suivante:

$$Q_{Jmoy} = \frac{P_n * N}{1000} \quad \text{Éq. 2}$$

Avec:

Q_{Jmoy} : Débit moyen journalier en m³/J;

P_n : Nombre d’habitant à l’horizon de l’année n;

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

Dans cette étude, nous avons estimé les besoins en adoptant les dotations de 45 l/j/hab pour les grandes villes d’Afrique de l’ouest, et de 100 l/j/hab. correspondants, aux besoins fondamentaux d’hydratation et d’hygiène personnelle préconisés pour vivre décemment et dans le confort [14].

- **Débit moyen horaire**

Le débit moyen horaire se déduit du journalier par la relation 3 suivante:

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

Avec:

Q_{hmoy} : Débit moyen horaire en m³/h;

- **Besoin globaux de la ville**

La ville de Korhogo est une agglomération qui s’étend sur plusieurs kilomètres carrés. Elle englobe des habitations en pleine expansion, mais également des édifices publics qui demandent un besoin vital en eau potable. A Korhogo, les besoins pour les services publics sont estimés à 20% des besoins de la population de la ville. En outre, le pourcentage du déficit, entre les volumes d’eau injectés dans le réseau et ceux facturés a été estimé à 30% en 2014 et 11% en 2017et 2018 par les services de la SODECI. Ce déficit est imputé aux différentes fuites (fuites techniques, piquages illicites, sous facturations forfaitaires etc.). Au regard des travaux de renforcements et d’entretien du réseau, il est prévu une réduction de ces fuites à 10% en 2020. Compte tenu d’un manque de données sur la prévision des fuites sur le réseau, nous avons conservé les 10% de fuites pour notre étude jusqu’à 2050. Les besoins globaux estimés sont obtenus en majorant la consommation à 10 % pour tenir compte des pertes.

2.3.3 MODELISATION DU RESEAU HYDRAULIQUE DE LA VILLE DE KORHOGO

Un modèle hydraulique est une représentation mathématique du réseau de distribution permettant la simulation de son fonctionnement hydraulique [15]. Il regroupe les différents éléments constitutifs d’un réseau: les conduites, certaines vannes et appareils de régulation, les pompes, les réservoirs et les interconnexions (nœuds). Le modèle est basé sur une représentation schématique du réseau sous forme de nœuds et de tronçons.

2.3.3.1 LES ETAPES DE LA MODELISATION

Les principales étapes de construction d’un modèle de réseau se déclinent comme suit:

- Choix du réseau à modéliser: Etape préalable indispensable permettant de décider du niveau de détail du modèle en fonction des objectifs visés par la modélisation.
- Constitution de la base de données: Collecte, Synthèse des données sur les conduites, les ouvrages, la topographie, la consommation. Mise au format du logiciel et saisie.
- Calage du modèle: Ajustement des paramètres du modèle (rugosité des conduites, répartition spatiale de la demande, profils de demande, pertes de charges singulières) afin d’obtenir le meilleur calage pour une configuration de réseau.

- Utilisations du modèle: Une fois le modèle calé, il est représentatif du fonctionnement actuel du réseau. Il sera alors possible de simuler différentes configurations de réseau et de consommations correspondant à des optimisations de fonctionnement, à des situations de crise ou aux développements futurs du réseau.

2.3.3.2 MODELISATION DU RESEAU A PARTIR DE LOGICIELS

Dans cette étude, nous avons utilisé pour la modélisation, le logiciel EPANET qui est outil de simulation du comportement hydraulique dans les réseaux d'eau potable. Un réseau d'eau potable sur un logiciel se définit par des tuyaux (tronçons sur le logiciel), des nœuds (intersection de deux tuyaux et extrémité d'une antenne) mais également d'autres organes (réservoirs, pompes, clapets, différents types de vannes, ...).

Pour modéliser le réseau, la première étape à consister à exporter le réseau AEP de la ville sous le format AutoCAD (DWG), en fichier format INP utilisable sur le support EPANET. Pour y arriver, nous avons utilisé le logiciel EpaCAD. Dans la pratique, la démarche procède des étapes suivantes:

- Obtenir le réseau sous AutoCAD

L'obtention du réseau sous AutoCAD a consisté à ouvrir le logiciel Autocad et choisir le fichier « plan de récolement d'ensemble AEP Korhogo ». La figure 3a montre comment se présente le plan sous AutoCAD.

Ce fichier plan a connu plusieurs modifications qui ont abouti au schéma du réseau. En effet, Les éléments du réseau (nœuds, conduites, vannes etc.) sont ajoutés directement sur le plan constituant le fond d'écran (figure 3a).

- Exporter le fichier au format dxf

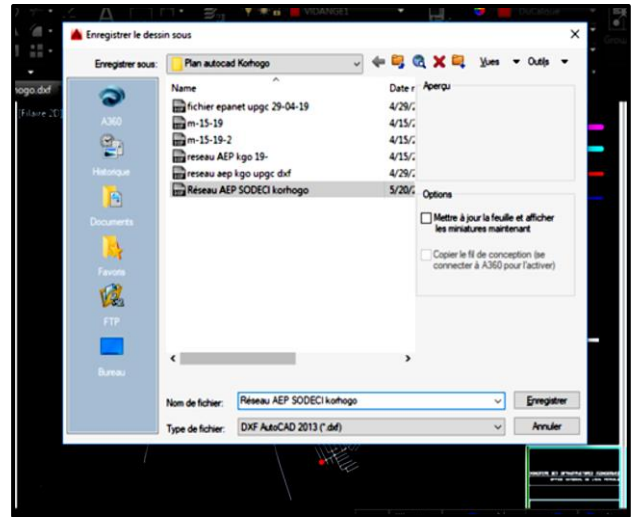
Le logiciel EpaCAD qui sert d'intermédiaire entre AutoCAD et EPANET ne peut utiliser que des fichiers au format dxf, nous avons enregistrés d'abord notre fichier sous le format dxf à l'aide du logiciel AutoCAD. Ensuite, nous avons ouvert EpaCAD, suivi de l'importation du fichier format dxf contenant toutes les conduites installées sur le réseau (Figure 3b).

- Convertir et enregistrer le fichier au format INP sous le logiciel EpaCAD (Figure 3c)

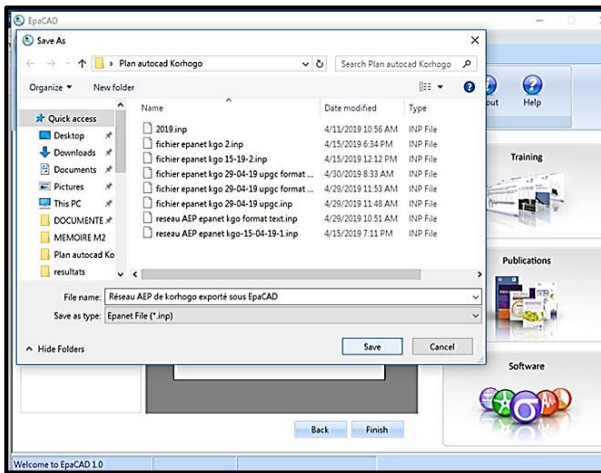
Le fichier créé est utilisable et peut alors être visionné sur le logiciel EPANET. L'obtention de ce fichier marque la fin de la construction du modèle avec lequel il possible de faire des simulations sur le réseau. La figure 3d présente l'étape finale et la visualisation du fichier sur EPANET.



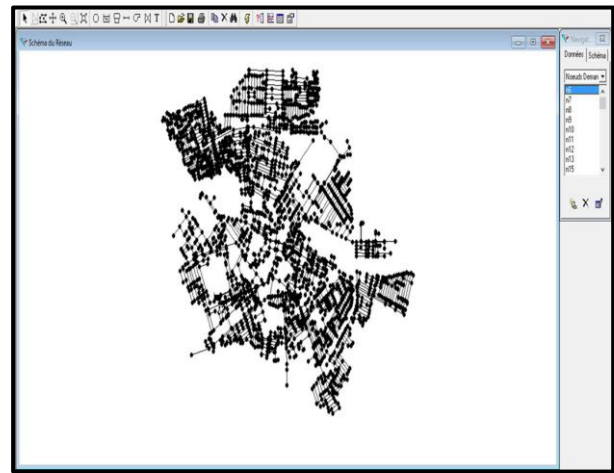
a) Plan AUTOCAD du réseau AEP



b) Fichier au format dxf avec AutoCAD



c) Fichier au format INP avec EPACAD



d) Visualisation du fichier avec EPANET

Fig. 3. Procédures principales de la modélisation du réseau hydraulique

2.3.4 METHODE DE SIMULATION

Pour la simulation, nous avons utilisé la méthode DEN qui est une démarche de dotation égale à chaque nœud de demande. En effet, nous avons utilisé le volume d'eau moyen de la station de traitement de la Direction régionale de la SODECI Korhogo injecté dans le réseau AEP de la ville via les deux châteaux en service. Ce volume est de 100 l/s, avec une dotation de $(100/2842 = 0.03518648839 \text{ l/s/nœud})$, soit une dotation d'environ 32 l/j/hab. pour une population moyenne actuelle estimée à environ 271561 habitants. Cette méthode simule le comportement du réseau avec une bonne précision, seulement dans le cas où la population et les nœuds de distribution sont uniformément repartis sur toute la surface desservie. Cependant, à défaut de données précises relatives à la répartition exacte de la distribution, cette méthode peut prévoir approximativement le comportement du réseau. Dans la pratique, les étapes suivantes résument la méthode de simulation utilisée:

- Préparer la simulation, c'est-à-dire renseigner les différents paramètres des conduites et des nœuds de calcul qui constituent le réseau;
- Lancer la simulation;
- Corriger les erreurs présentées dans le rapport d'état pour la validation de la simulation;
- Appliquer la méthode den (dotation égale à chaque nœud) au réseau actuel et au réseau amélioré.

3 RESULTATS

3.1 CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE ET ESTIMATION DES BESOINS EN EAU

En se basant sur un taux d'accroissement annuel de 2,08%, la population de la ville de Korhogo ainsi que les besoins moyens totaux ont été estimés pour différents horizons et scénarios de dotation. Le tableau I présente les différents résultats. La population de la ville qui était de 245000 habitants en 2014 est estimée à 271561 en 2020, et 503598 à l'horizon 2050. On note une croissance rapide de la population qui représente pratiquement le double ($503598/271561 = 1,86$) à l'horizon 2050. Les demandes moyennes globales en eau potable pour une dotation 45 l/j/hab. sont respectivement de 678 m³/h en 2020, 750 m³/h en 2025, 830 m³/h en 2030, 1020 m³/h en 2040 et 1252 m³/h en 2050. Le besoin à l'horizon 2050 est presque le double de la demande actuelle (2020). Pour une dotation 100 l/j/hab. les besoins estimés sont de 1498 m³/h en 2020, 1661 m³/h en 2025, 1840 m³/h en 2030, 2260 m³/h en 2040 et 2775 m³/h en 2050. Nous constatons également pour cette dotation que la demande globale en eau estimée à l'horizon 2050 est à priori le double de celle actuelle.

Tableau 1. Estimation de la population et des besoins globaux de la ville de Korhogo

Année		2020	2025	2030	2040	2050
Population estimée		271561	301002	333635	409900	503598
% de Pertes du réseau		10	10	10	10	10
Avec les pertes du réseau	Dotation (l/j/hab)	Débit moyen horaire de la population de Korhogo (m ³ /h)				
	45	678	750	830	1020	1252
	100	1498	1661	1840	2260	2775
	Dotation (l/j/hab)	Débit moyen journalier de la population de Korhogo (m ³ /j)				
	45	16262	18012	19951	24479	30045
	100	35978	39864	44172	54239	66607

3.2 MODELISATION DU RESEAU HYDRAULIQUE DE KORHOGO

La création du modèle du réseau de la ville de Korhogo s'est avérée complexe et délicate. En effet, il était question de renseigner tous les diamètres des conduites de service et les altitudes des nœuds de service qui se trouvent sur le vaste réseau de la ville. Cette étude a permis tout de même, de proposer un modèle qui est représentatif du réseau AEP de la ville de Korhogo (Figure 4). Ce réseau est structuré par des tronçons dont la majorité des conduites a des diamètres compris entre 53 mm et 100 mm. Les conduites de diamètres supérieurs à 100 mm représentent une faible portion du réseau. La figure 5 indique que les conduites de diamètres compris entre 53 mm et 100 mm représentent 87.5% du réseau, ceux qui sont supérieurs à 100 mm ne représentent que 12,5%. Plus de la moitié des conduites (65%) ont un diamètre égal à 53 mm. En outre, le réseau est alimenté par deux châteaux d'eau, l'un ayant une capacité de 2000 m³ et l'autre une de 600 m³. Pour une dotation de 45l/j/hab, la ville de Korhogo a une demande journalière en eau estimée à 16262 m³/j pour l'année 2020. Or, la capacité totale des deux réservoirs en service est de 2600 m³, ce qui représente environ 16% des besoins estimés de la ville en 2020. Un réservoir capable de régulariser efficacement la distribution de l'eau aux heures de pointes, dans une grande ville comme Korhogo doit avoir une capacité d'au moins 25% de sa consommation journalière. Nous déduisons donc que la ville n'a aucune réserve en eau suffisante, pour satisfaire convenablement ces besoins aux heures de pointes et en cas d'arrêt de l'usine de production ou des pompes de refoulement. Le réseau actuel de la ville est donc à priori sous-dimensionné et ne peut en aucun cas satisfaire convenablement les besoins de la population actuelle et future de la ville de Korhogo.



Fig. 4. Réseau hydraulique d'AEP de la ville de Korhogo modélisé sous EPANET

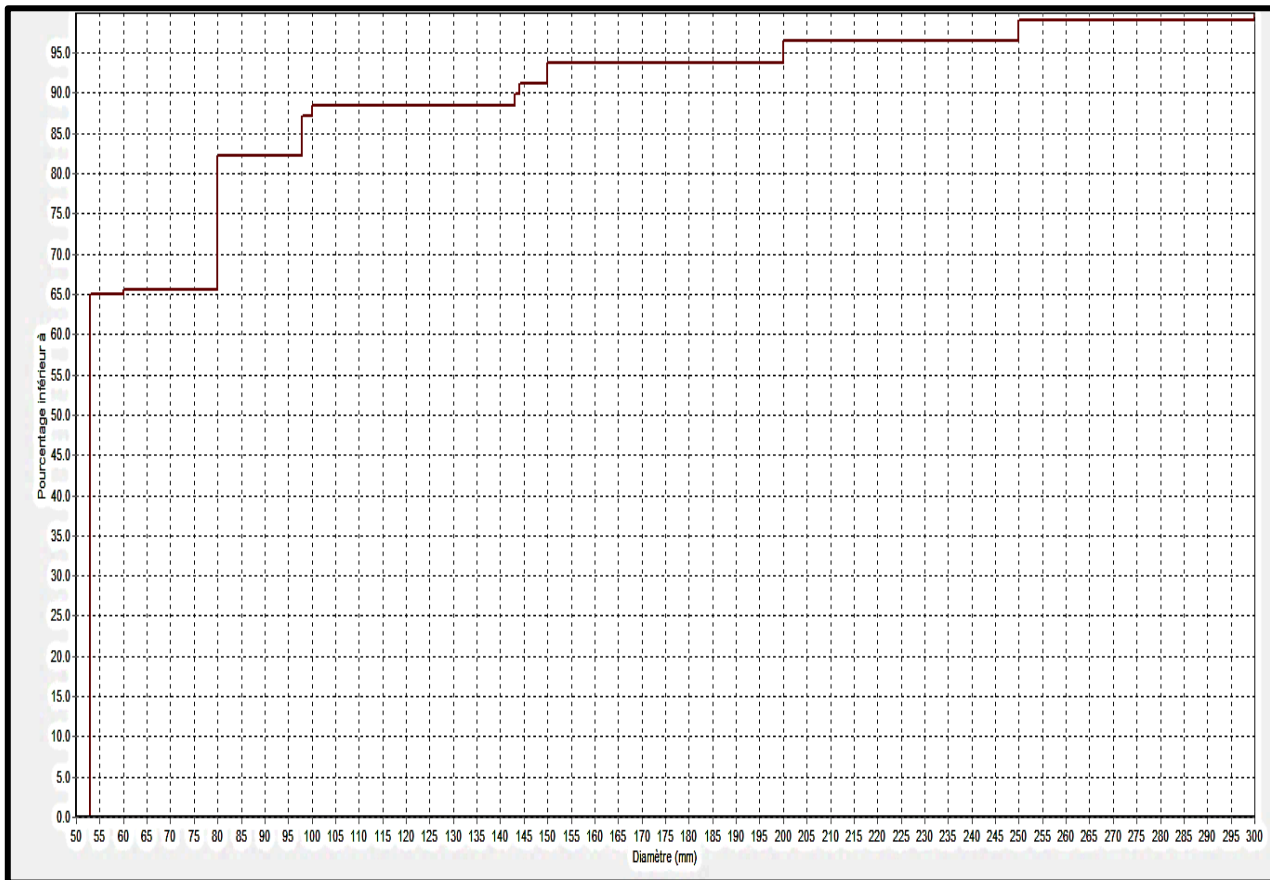


Fig. 5. Courbe de distribution des diamètres du réseau d'AEP de la ville sous EPANET

3.3 SIMULATION HYDRAULIQUE

3.3.1 RESULTATS PRELIMINAIRES DE LA SIMULATION HYDRAULIQUE

Après plusieurs essais, nous avons obtenu un premier résultat de la simulation qui met en rapport les altitudes des nœuds et les pressions de services sur le réseau. La figure 6 illustre le résultat de la première étape de la simulation. Pour mieux apprécier le résultat obtenu, nous avons procédé à la construction d'une courbe de niveau des pressions réparties aux différents nœuds de la zone d'étude (figure 7). Nous constatons que le relief favorise des pressions supérieures à 50 mce dans la partie Centre, Nord, Sud et Ouest du réseau avec une couleur rouge. Seulement de petites parties situées au Sud-ouest, Sud-est et au Nord-est ont des pressions inférieures à 20 mce matérialisées par la couleur bleu foncée. Cela signifie que le relief participe à une bonne qualité de distribution de l'eau dans la majeure partie du réseau. Une partie de la zone d'étude se présente sous une couleur bleu clair et jaune, indiquant des pressions comprises entre 20 et 50 mce. Ces constats permettent d'affirmer que le réseau de Korhogo convient à une bonne distribution de l'eau de façon gravitaire. Cela corrobore alors les observations faites dans la section précédente.

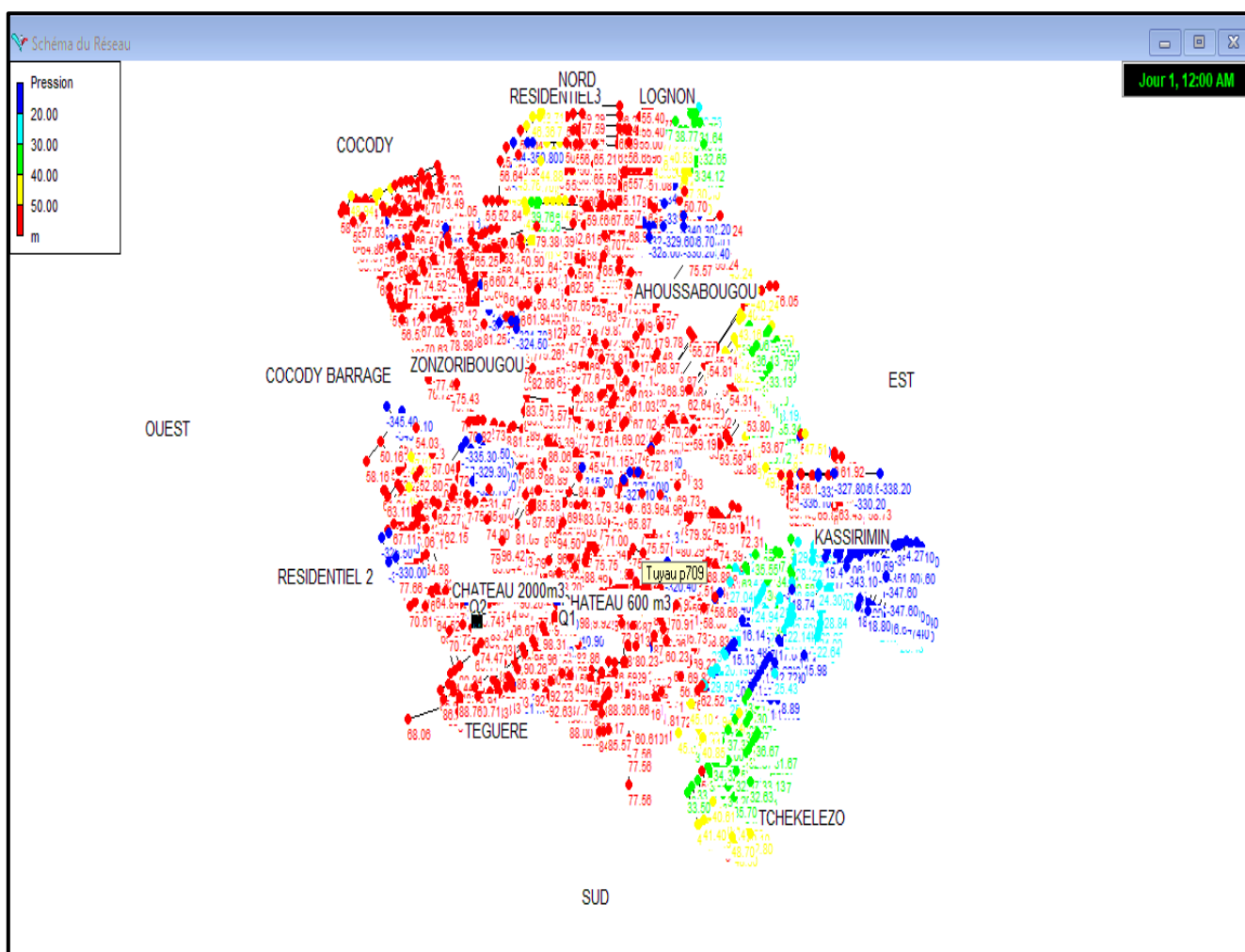


Fig. 6. Résultat préliminaire de la simulation des pressions aux nœuds de calculs sous EPANET

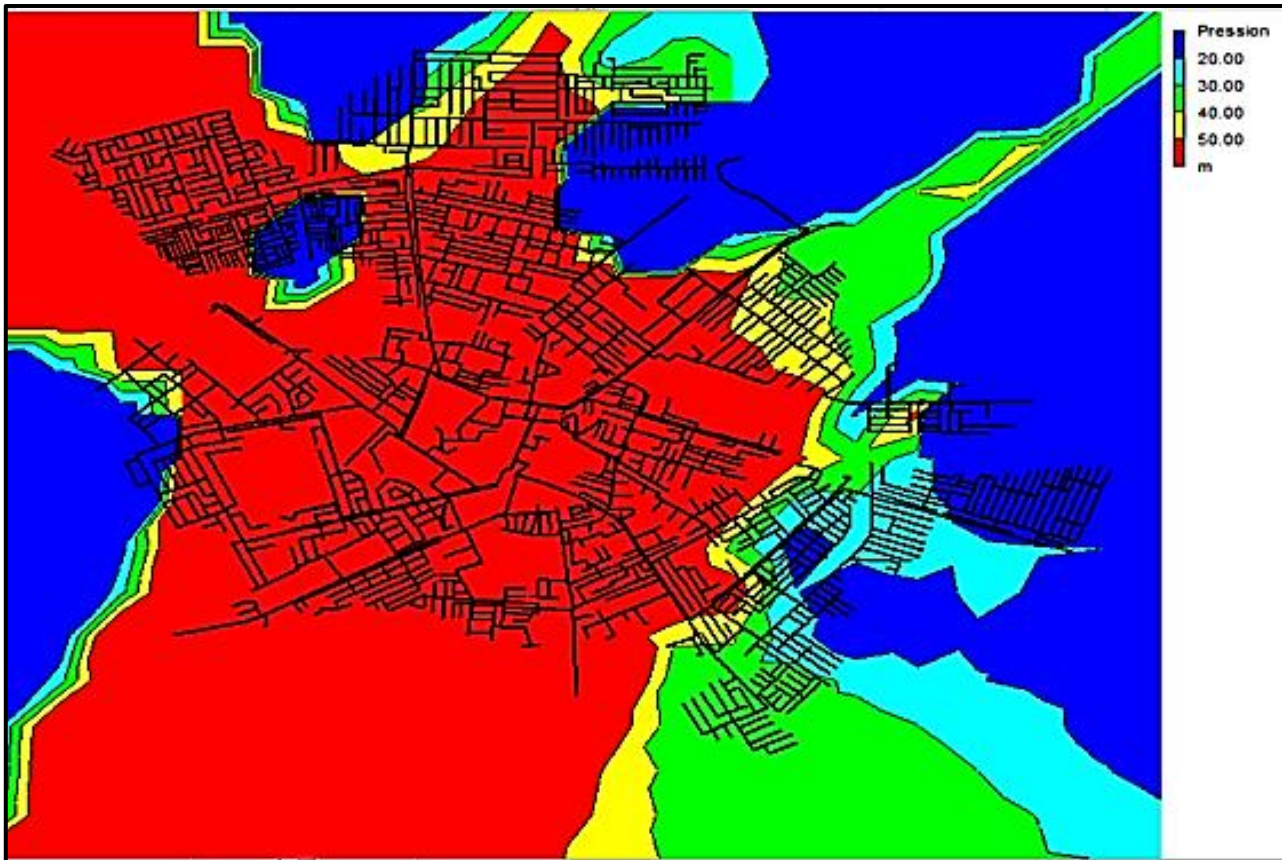


Fig. 7. Courbe de niveau des pressions sous EPANET en mce

3.3.2 RESULTATS DE LA SIMULATION DEFINITIVE

3.3.2.1 SIMULATION AVEC LES DONNEES DU RESEAU ACTUEL

Les résultats de la simulation de la totalité du réseau d’AEP de Korhogo présentent beaucoup d’anomalies, plusieurs messages d’erreurs ont été générés. Les nœuds en rouge ont des pressions négatives, c’est pratiquement toutes les zones Est et Sud-est de la ville avec des pressions négatives, c’est-à-dire privées d’eau (Figure 8). Seuls les nœuds sous pressions (en bleu sur le réseau) reçoivent de l’eau. Pour améliorer la situation de la distribution actuelle, il importe de faire des simulations correctives au niveau des zones en dépression. Les vitesses dans les différents tronçons visibles à la figure 9, signifient qu’une grande majorité des canalisations acheminent des débits avec des vitesses hors normes (inférieures à 0.5 m/s et supérieures à 2 m/s). Ainsi, la plus petite vitesse est de 0 m/s au niveau des conduites p121, p226 et il y a des vitesses qui dépassent 5 m/s. Nous avons le cas des conduites p911, p923, p924 et p925 de diamètres 90 mm et p19 et p56 de diamètres 53 mm où les vitesses sont supérieures à 5m/s. Pour améliorer le réseau, il importe de changer les conduites p911, p923, p924 et p925 ayant des diamètres de 90 mm avec des conduites de diamètres 160 mm. En outre, les conduites p19 et p56 de diamètres 63 mm doivent remplacées par des conduites de diamètres 90mm. D’autres améliorations sont en conséquence nécessaires pour améliorer et augmenter le rendement actuel du réseau de distribution d’eau potable de la ville de Korhogo. Les résultats des différentes simulations proposées sont présentés dans les sections suivantes du présent travail.

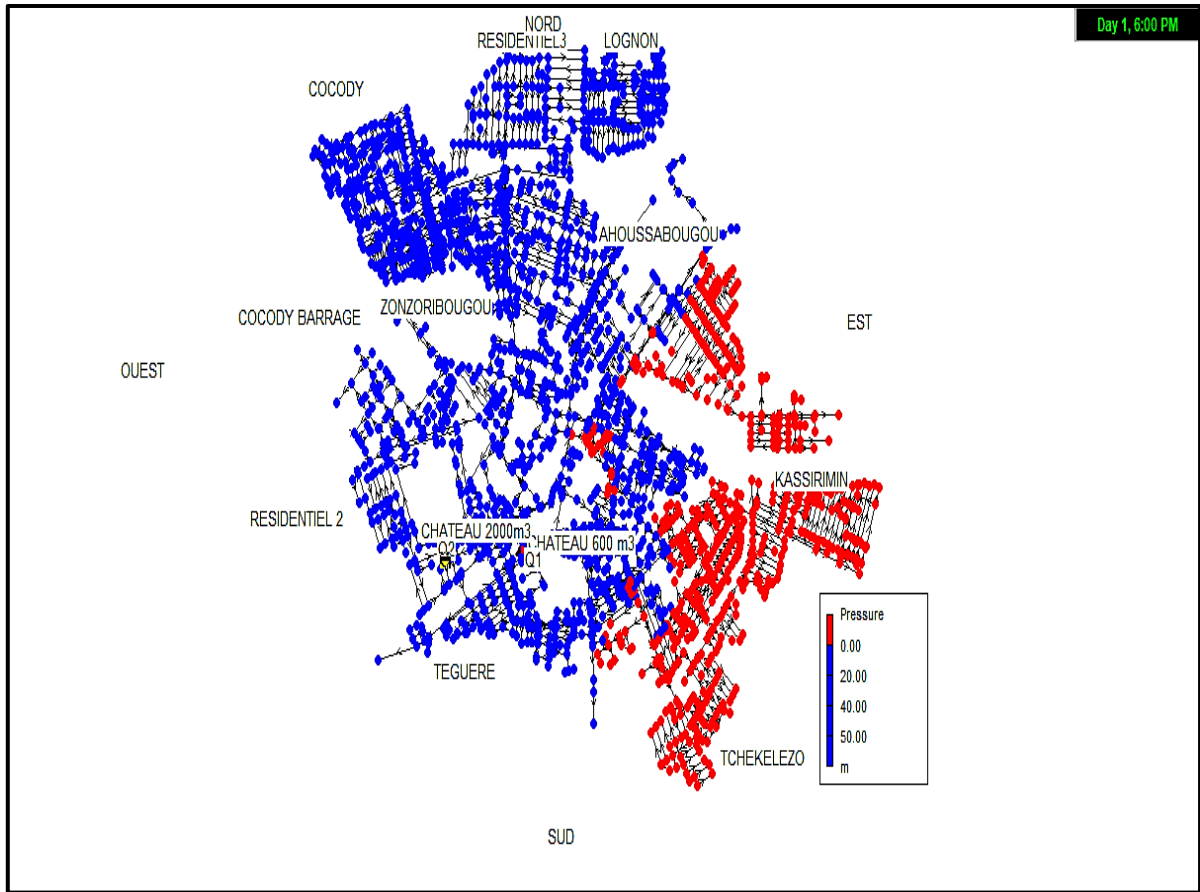


Fig. 8. Distribution des pressions en m sur le réseau actuel estimée sous EPANET

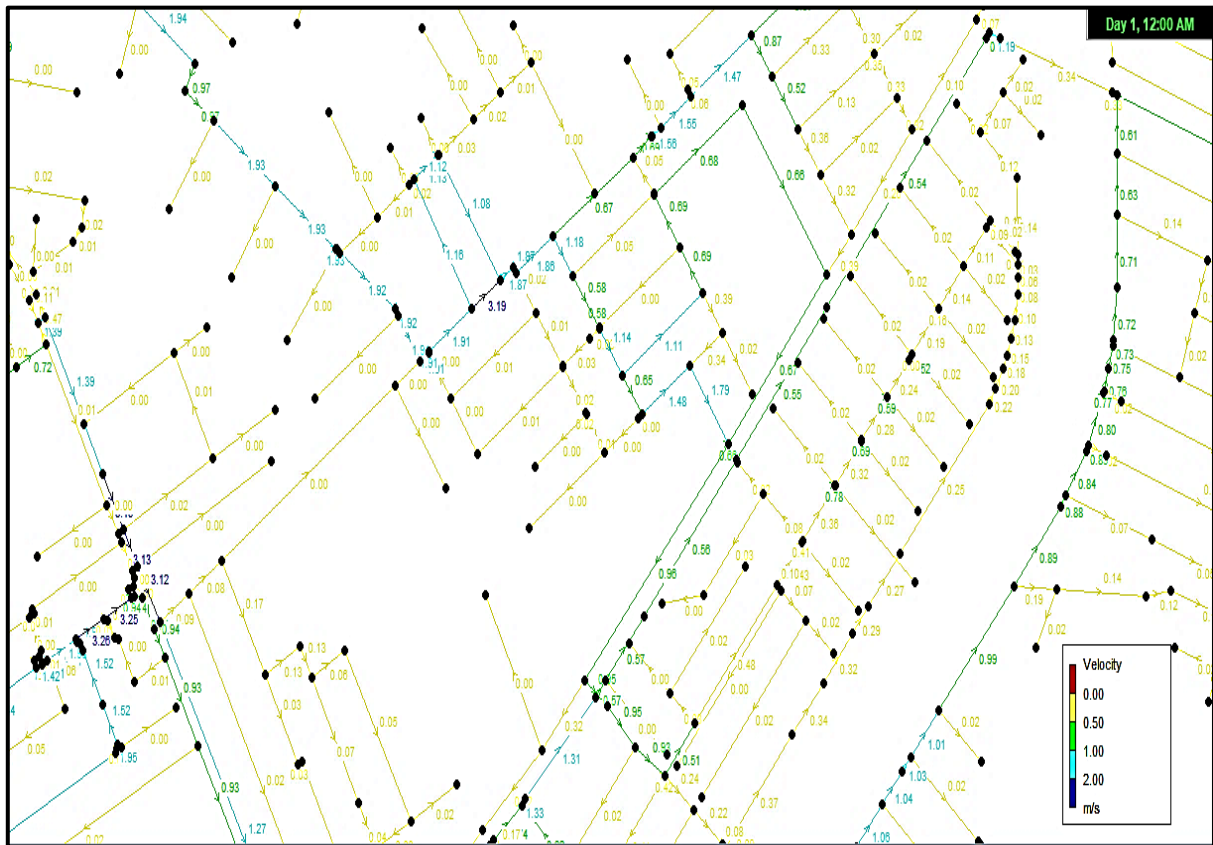


Fig. 9. Distribution des vitesses sur le réseau actuel sous EPANET

3.3.2.2 SIMULATION AVEC LES DONNEES DU RESEAU AMELIORE

Plusieurs simulations ont été effectuées pour atteindre une bonne distribution des pressions données. Les conduites données au tableau II ont été remplacées par des conduites de diamètres plus élevés. En outre, nous avons utilisés une dotation de 45l/j/hab. pour un horizon de calcul allant jusqu’en 2030. Les modifications proposées contribuent sans aucun doute, à l’amélioration des performances du réseau. En effet, après avoir effectué ces modifications, le comportement du réseau est considérablement amélioré avec la majorité des nœuds ayant des pressions positives (Figure 10). L’analyse de la figure indique que, en dehors d’une minorité de nœuds ayant des pressions négatives au niveau du secteur sud-est de la ville, la totalité du réseau bénéficie de pressions positives, c'est-à-dire reçoivent correctement de l’eau. Par ailleurs, la représentation des vitesses dans les différents tronçons du réseau illustrée par la figure 11, montre après la simulation correctrice que toutes les vitesses sont désormais positives. On peut affirmer que cela induit une distribution efficace d’eau, en quantité et en qualité dans les canalisations du réseau de la ville, même aux heures de pointes.

Pour valider le modèle, nous avons simulé le réseau amélioré avec le débit actuel injecté qui est de 100 l/s. Les résultats présentés par les différentes figures 11 et 12 montrent qu’il n’y a aucun problème de desserte en eau dans tous les tronçons du réseau de la ville de Korhogo. En effet, on constate une distribution satisfaisante des vitesses et des pressions sur l’ensemble du réseau. Ce résultat indique une simulation réussie qui suppose que le réseau amélioré est complet et bien équilibré.

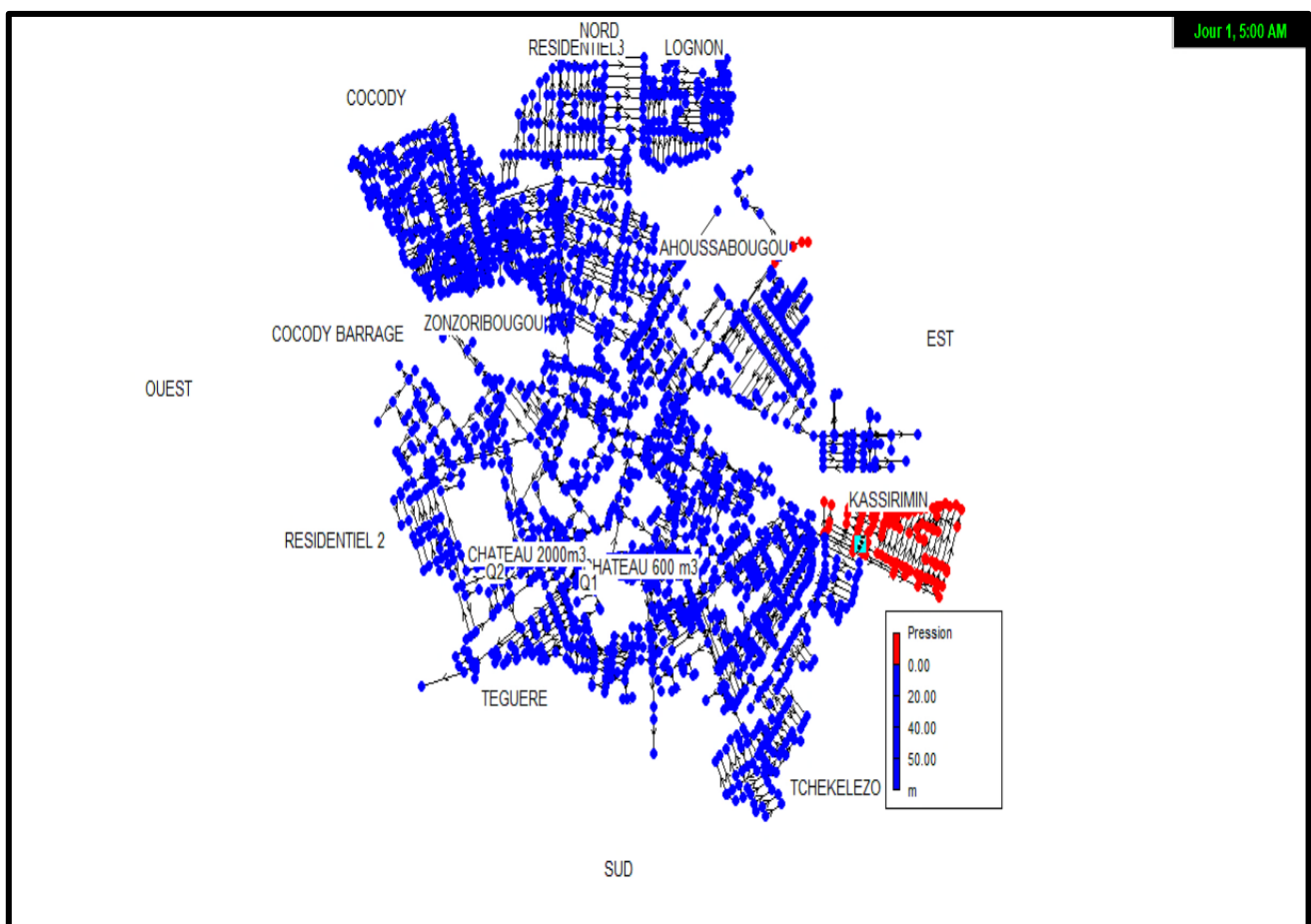


Fig. 10. Distribution des pressions estimées sur le réseau amélioré à l’horizon 2030

Tableau 2. Extrait des conduites de remplacement et leurs caractéristiques

Conduites	Longueur	Ancien Diamètre	Nouveau Diamètre
p3269	91.56	110	200
p3268	325.7	110	200
p1217	120.7	160	250
p1216	446.7	160	250
C26	73.47	90	250
C28	74.14	90	250
C27	68.55	90	250
C24	72.32	90	250
C14	125.1	90	250
C21	122.5	90	250
C20	102.2	90	250
C23	230.4	90	250
C22	67.41	90	250

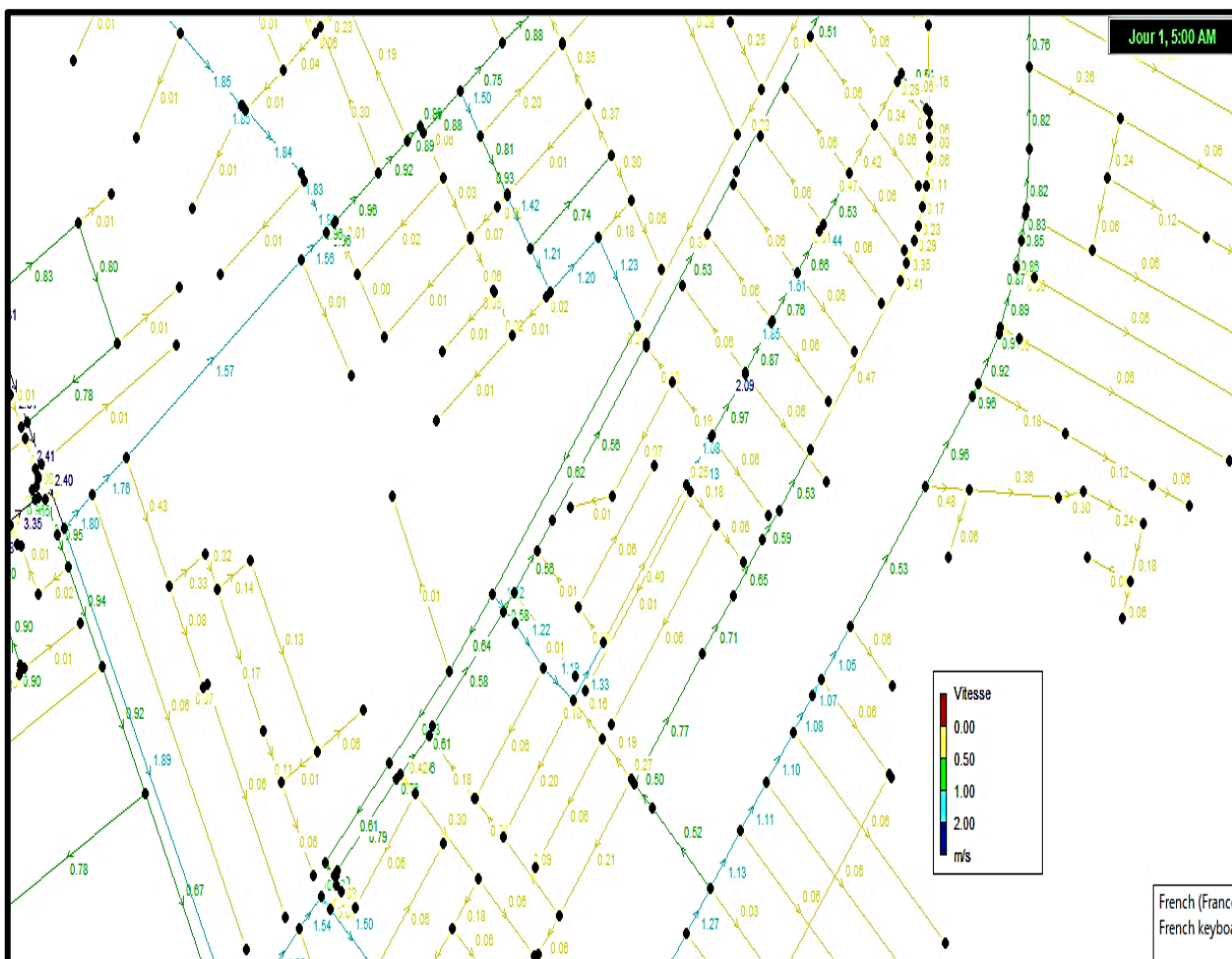


Fig. 11. Distribution des vitesses dans le réseau amélioré avec EPANET

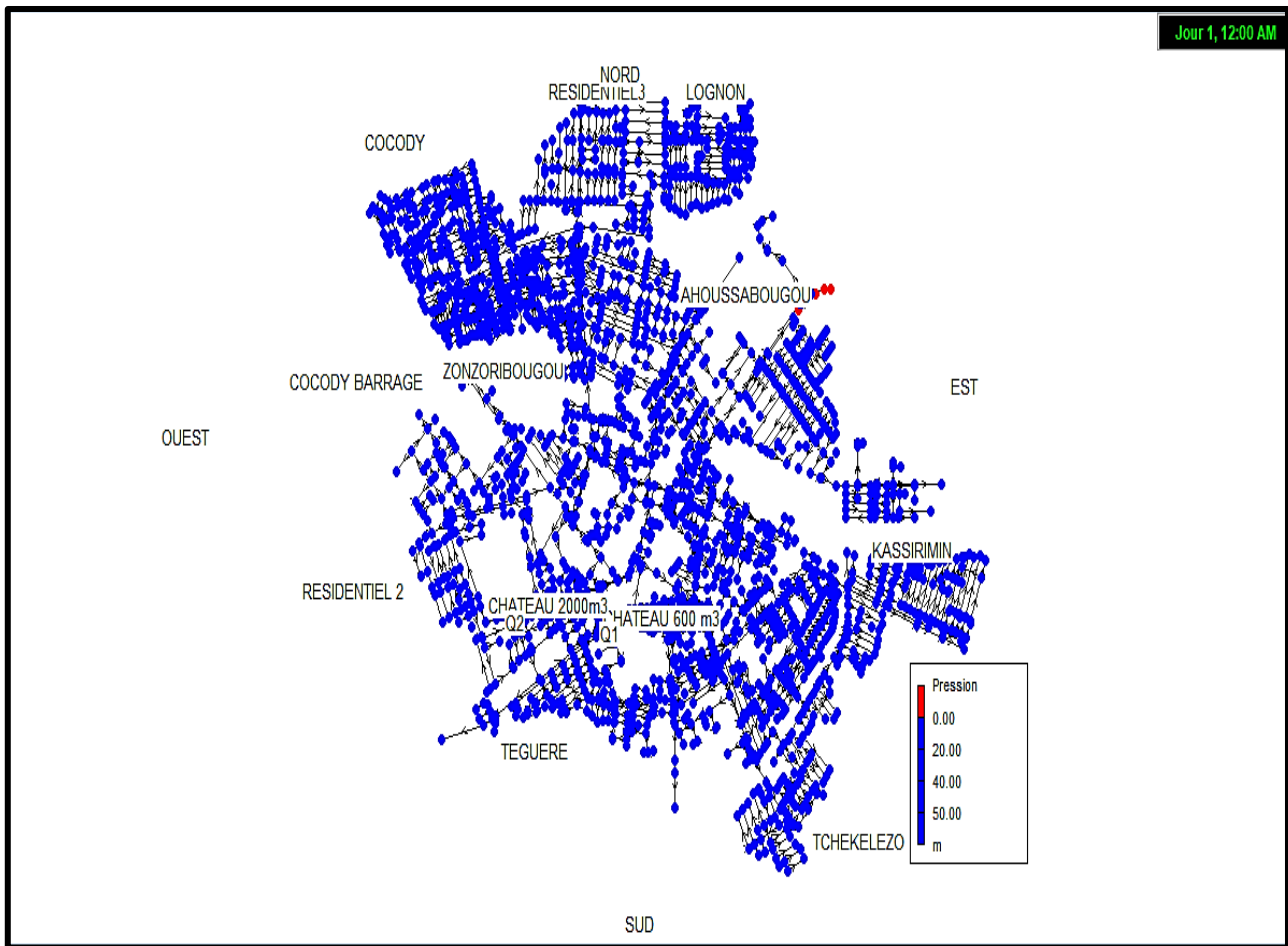


Fig. 12. Distribution des pressions dans le réseau amélioré avec le débit actuel

4 DISCUSSIONS

Le dimensionnement d’un projet d’alimentation en eau potable sans la création d’un modèle hydraulique est un dimensionnement incomplet et sans avenir. Le modèle hydraulique permet de connaître le comportement actuel et futur d’un réseau d’AEP [12]. Une modélisation hydraulique complète est la première condition pour pouvoir modéliser le comportement hydraulique et qualitatif de l’eau de manière efficace [16]. C’est sans doute pour cette raison que plusieurs travaux traitent de la problématique de gestion de l’eau potable par la création d’un modèle hydraulique ([1], [9], [17], [18], [19], [20], [21]). Le logiciel EPANET est l’un des outils les plus utilisés pour la modélisation hydraulique et la gestion des projets de distribution d’eau potable dans les agglomérations ([1], [16], [18], [22], [23]). Selon [16], EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l’eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. De nombreux auteurs ont ainsi utilisé le logiciel EPANET, pour construire un modèle hydraulique afin d’étudier le fonctionnement des réseaux AEP ([1], [18], [22]). La construction d’un modèle hydraulique du réseau AEP de la ville de Korhogo à partir de l’outil EPANET a permis de simuler le comportement du réseau de distribution d’eau potable par la SODECI. Le modèle obtenu a permis de connaître et comprendre le fonctionnement du réseau actuel. En effet, il révèle plusieurs problèmes dans le fonctionnement actuel du réseau qui présente plusieurs pressions faibles et des vitesses globalement non satisfaisantes (inférieures à 0.5 m/s ou supérieures à 2 m/s). Selon [12], pour un bon fonctionnement hydraulique, les vitesses doivent être comprises dans un réseau de distribution entre 0,5 et 1,5 m/s, en ce qui concerne les pressions sur les nœuds, pour une bonne alimentation des consommateurs, elles doivent être comprises entre 2 et 10 bars. Or un grand nombre de tronçons sur le réseau ne vérifie pas ces conditions. Les vitesses inférieures à 0.5m/s peuvent occasionner des dépôts dans les conduites, tandis que les vitesses supérieures à 1.5 m/s peuvent susciter des difficultés d’exploitation, un surcoût de béliet, des bruits possibles et plusieurs risques de fuites ([18], [24]). Pour cette raison, plusieurs simulations ont été effectuées pour atteindre une bonne distribution des pressions données. Des modifications pour la rénovation du réseau ont été proposées pour un horizon de calcul de 10 ans (jusqu’en 2030). Comme corrections, certains tronçons avec des conduites inadaptés ont été remplacés par des conduites de diamètres plus élevés. En effet, en marge du vieillissement des conduites, se pose le problème de conduites qui ne sont pas forcément vétustes, mais inadaptées face aux évolutions de l’environnement, des besoins ou de la réglementation [24]. En outre, la population peut évoluer fortement. Cela peut entraîner des sous-dimensionnements ou des surdimensionnements qui ont des impacts sur les niveaux de pression et sur les temps de séjour en réseau. Dans ces cas, le renouvellement de certaines canalisations permet d’adapter le réseau aux nouveaux besoins [24]. C’est le cas pour la

ville de Korhogo qui connaît depuis des années une forte croissance démographique. En outre, des conduites inadaptées peuvent conduire au mauvais fonctionnement hydraulique du réseau [25]. Les simulations correctives effectuées ont sans aucun doute contribué à l'amélioration des performances du réseau. Des résultats similaires ont été obtenus par de nombreux auteurs dans la modélisation hydraulique du réseau d'eau potable ([12], [18]). Le modèle hydraulique permet de détecter les zones de faibles et fortes pressions, d'identifier les zones vulnérables [23]. De nos jours, les gestionnaires ont à leur disposition une large gamme de modèles pour mieux gérer, concevoir, suivre dans le temps, l'état du réseau et la qualité de l'eau qui transite dans ce dernier et de prévoir des réparations ([16], [20], [23]).

5 CONCLUSION

De nos jours, les outils de simulation sont devenus incontournables à la gestion des réseaux d'eau potable. Cette étude avait pour objectif de concevoir un modèle hydraulique, pour connaître le fonctionnement actuel du réseau d'AEP de la ville Korhogo, et proposer des simulations correctives pour augmenter son rendement sur un horizon de calcul de 10 ans. La simulation du modèle créé avec les données actuelles du réseau a révélé beaucoup de problèmes de pressions et de vitesses hors normes ou non satisfaisantes. En effet, on constate plusieurs tronçons, surtout au niveau du secteur sud-est de la zone d'étude avec des vitesses inférieures à 0.5 m/s ou supérieures à 2 m/s, et des pressions inférieures à 2 bars (20 mètres). Ce qui indique à priori que le réseau dans sa conception actuel est sous dimensionné et ne peut satisfaire les besoins actuels et futurs de la population. Ces travaux ont permis de proposer des corrections à entreprendre, pour le mettre à niveau et augmenter son rendement. Parmi ces actions, nous avons les conduites p911, p923, p924 et p925 de diamètres 80/90mm qui ont été modifiés par des conduites de diamètres 143/160 mm et les conduites p19 et p56 de diamètres 53/63mm par des conduites de diamètres 80/90mm. A la fin, nous obtenons un modèle du réseau nettement amélioré avec des simulations jusqu'à l'horizon 2030 et pour une dotation de 45l/j/hab. Le résultat de la simulation du réseau amélioré pour cette décennie, présente des vitesses et des pressions acceptables pour satisfaire plus ou moins la population de la ville de Korhogo.

REFERENCES

- [1] Fils-Aime, H. C., Développement d'une méthodologie pour le management du réseau d'eau potable de la ville de Trou-du-Nord et deux (2) de ses communes environnantes, Nord-est d'Haïti, Thèse de doctorat à Madison International Institute and Business School, 332 p, 2019.
- [2] F. Baali, A. Rouabhia, N. Kherici, L. Djabri, L. Bouchaou et A. Hani, Qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-aride. Cas de la cuvette de Chéria (NE Algeria). *Estudios Geologicos*, Vol. 63, no. 2, pp. 127-133, 2007.
- [3] Bouaziz, M. A., Sécurité des réseaux d'adduction d'eau potable en présence de défaut superficiel sous l'effet du phénomène de coup de bélier. Thèse de doctorat université de Lorraine (France) et université de Sfax (Tunisie), 142 p, 2016.
- [4] K. Sebbagh, A. Safri, M. Zabot et O. Narbey, Démarche de prélocalisation des pertes physiques sur un réseau de distribution d'eau potable par l'optimisation du modèle hydraulique via un algorithme évolutionnaire. *La Houille Blanche*, no. 6, pp. 59-66, 2016.
- [5] Bessedik, M., Pratiques de l'eau en situation de pénurie dans la ville de Tlemcen, Ed. Universitaires Européennes, 272 p, 2011.
- [6] Adélé, Alexis, Côte d'Ivoire: le calvaire des pénuries d'eau à Abobo. Ed. Le Monde Afrique, Abidjan. [Online] Available: https://www.lemonde.fr/afrique/article/2015/03/24/cote-d-ivoire-le-calvaire-des-penuries-d-eau-a-abobo_4600096_3212.html (19 Août, 2019).
- [7] RGPH, Recensement Générale de la population et de l'Habitat 2014, Résultats Globaux, 22 p, 2014.
- [8] OMS, et UNICEF, Progrès en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène: mise à jour 2017 et estimations des ODD [Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines]. Genève, [Online] Available: https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2018/01/JMP-2017-report-fr_0.pdf, 108 p, 2017.
- [9] 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 en hydraulique, Université Abou Bakrbelkaid Tlemcen, Algérie, 161p, 2014.
- [10] S. A. N'Guessan, K. A. Alla et S. Y. Koffi, Impact de l'agriculture urbaine sur la qualité des ressources en eau de surface du nord de la Côte d'Ivoire: cas du barrage de Koko dans la Commune de Korhogo, *International Journal of Humanities and Social Science Research*, Vol. 4; no. 2, pp. 20-29, 2018.
- [11] H. Yeo, K. J. Kra et L. F. E. Koffi, Infrastructures de transport et accessibilité géographique des populations rurales aux équipements sanitaires urbains dans la zone dense de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire), *Espace populations sociétés* [En ligne], 2016/2 | 2016, mis en ligne le 29 juin 2016, URL: <http://eps.revues.org/6331>, 2016.
- [12] Boumelita, J., Contribution à l'étude de la sûreté de fonctionnement d'un système d'alimentation en eau potable. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar-Ababa, Algérie, 97p, 2019.
- [13] F. Pelletier et T. Spoorenberg, Aperçu sur les méthodes de projection, Atelier régional sur les méthodes de projection, Dakar, 28 Novembre, 2016.
- [14] OMS, Statistique sanitaire mondiale 2012 [Online] Available: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44857/9789242564440_fre.pdf, 2012.

- [15] Jean, R., Modèles mathématiques de fonctionnement hydraulique d'un système d'adduction d'eau, In: Utilisation des ressources en eau d'un bassin dans le cadre de l'aménagement du territoire, Compte rendu des onzièmes journées de l'hydraulique; Paris, Tome 1, pp. 1-10, 1971.
- [16] Lewis, Simulation Hydraulique et Qualité pour les Réseaux d'Eau sous Pression: Manuel de l'utilisateur, version française. Ed. Générale des eaux, Paris, 222p, 2003.
- [17] Bemrah, H., Des stratégies de la gestion durable de l'eau potable, Thèse de Doctorat en hydraulique, Université Abou Berk Belkaid Flmencen, 101p, 2013.
- [18] K. Ayari, et L. Z. Chabaane, Conception d'un modèle de données pour les réseaux d'eau potable de la SONEDE: validation sur le réseau d'Amilcar, Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO, 15p, 2015.
- [19] A. Agathokleous, and S. Christodouloub, The impact of intermittent water supply policies on urban water distribution network, Procedia Engineering, Vol. 162, pp. 204–211, 2016.
- [20] R. Ahmadullah, and K. Dongshik, Construction of hydraulically balanced water distribution network, International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS), Okinawa, pp. 96-98, 2015.
- [21] B. Hountondji, et F. P. Codo, Conception d'un modèle hydraulique pour le réseau de distribution d'eau potable de monzougoudo au Benin, Larhys Journal, Vol. 38, pp. 71-91, 2019.
- [22] R. Cobacho, R. Arregui, R. Soriano, and E. Cabrera, Including leakage in network models: an application to calibrate leak valves in EPANET. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, Vol. 64, no. 2, pp. 130–138, 2015.
- [23] C. Siew, and T. T. Tanyimboh, Pressure dependent EPANET extension: extended period simulation, Water Distribution System Analysis, Sept. 12-15, Tucson, AZ, USA, 2010.
- [24] Wery, C., Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable. Politiques d'investissement et gestion des immobilisations: cadre et bonnes pratiques. Une vision à la croisée des approches techniques, comptables et financières, Guide complet juillet 2014. ASTEE-ONEMA-AITF-FNCCR, 136 p, 2014.
- [25] Einsenbeis P., Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable, Thèse de doctorat de l'université Louis Pasteur, France, (1994).