



CONCEPTION D'UN MODELE HYDRAULIQUE POUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE DE MONZOUNGOU DO AU BENIN

DESIGN OF A HYDRAULIC MODEL FOR THE MONZOUNGOU DO WATER SUPPLY NETWORK IN BENIN

HOUNTON DJI B.¹, CODO F. P.²

¹ Université d'Abomey-Calavi, Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA), 072 BP 50 Cotonou, Bénin.

² Université d'Abomey-Calavi, Institut National de l'Eau (INE),
01 BP 526 Cotonou, Bénin

babilassrock@yahoo.fr

RESUME

Pour parvenir à réfectionner le réseau de distribution d'eau potable de Monzoungou do, nous nous sommes proposé d'élaborer un modèle hydraulique du dit réseau. La création de ce modèle est faite à partir de l'analyse des fiches d'informations élaborées par la Direction Générale des Eaux du Bénin (DGEau) pour ce qui concerne le forage et le réseau de distribution d'eau potable. Dans premier temps un modèle hydraulique du forage a été élaboré et a permis de confirmer la valeur de la pression en tête de forage qui est de 4,16 bars. Ensuite, à l'issu de cette vérification un modèle a été élaboré avec le logiciel EPANET pour simuler le réseau de distribution d'eau potable de Monzoungou do. La simulation du fonctionnement du réseau en question, nous a amené à réhabiliter ce dernier pour avoir des paramètres hydrauliques pouvant corriger les vitesses.

Mots- clés : Forage, modèle hydraulique, réseau de distribution, EPANET.

ABSTRACT

To rehabilitation of the drinking water network of Monzougoudo, we proposed to develop a hydraulic model of the network says. The creation of this model is made from the analysis of information sheets prepared by the Directorate General of Benin waters (DGEau). Initially a hydraulic model has been developed and confirmed the drill head in pressure value which is 4, 16 bars. Then at the end of this audit model has been developed with EPANET logiciel to simulate the network of drinking water distribution of Monzougoudo. The network operations simulation in question, led us to rehabilitate it for hydraulic parameters that can correct speed.

Keywords: Drilling, Hydraulic model, distribution network of drinking water, EPANET.

INTRODUCTION

La réfection du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo peut se faire à l'issu du diagnostic de son système hydraulique constitué d'un forage artésien jaillissant et d'un réseau de distribution d'eau potable. Il est donc nécessaire de vérifier si la valeur de la pression en tête de forage est suffisante pour alimenter le réseau de distribution et de procéder également à la réhabilitation de ce dernier pour satisfaire les contraintes de distribution: délivrer un débit donné dans les limites admissibles de vitesse et de pression. Deux axes d'études ont été abordés. Premièrement, une étude hydraulique du forage a été réalisée pour déterminer la valeur de la pression en tête de forage et une vérification des conditions de vitesse et de pression respectivement dans les conduites et aux nœuds du réseau de distribution a été faite pour tenir compte de l'intégrité de la structure du réseau. L'objectif du premier axe de cette étude est d'évaluer les pertes de charge liée au déplacement de l'eau afin d'obtenir une pression suffisante en tête de forage à partir de la pression statique du réservoir d'eaux souterraines. Une fois que la pression de l'eau en tête de forage est connue la modélisation hydraulique du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo peut être réalisée.

MODELE HYDRAULIQUE DU FORAGE DE MONZOUNGOUDO

Un forage hydraulique permet d'accéder au réservoir d'eaux souterraines et d'extraire de l'eau en vue de satisfaire les besoins des populations en eau potable.

Description du problème

Soit le modèle physique de la figure 1. C'est un forage avec un débit Q . Le forage est rapporté à un repère vertical ascendant (Oz). La question est de déterminer la pression en tête de forage p_2 .

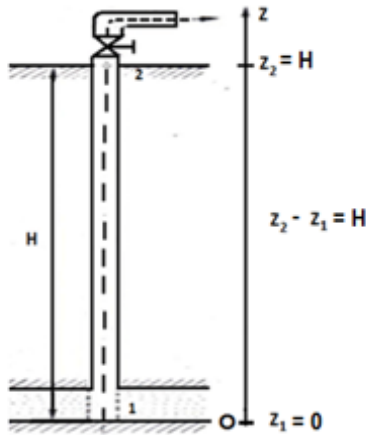


Figure 1 : Ecoulement dans le forage (Codo, 1989)

MATERIELS ET METHODES

Les données nécessaires pour modéliser un forage

Géométrie et hydrodynamique du forage de Monzougoudo

Les données concernant la géométrie et l'hydrodynamique du forage sont regroupées dans le tableau 1 et concernent principalement les données techniques du forage hydraulique réalisé dans le village de Monzougoudo et qui sont fournies par la Direction Générale de l'Eau du Bénin.

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques et paramètres hydrodynamiques du forage de Monzougoudo (source : DGEau, Bénin)

Paramètres	Valeurs
Profondeur du forage H (m)	244,18
Diamètre du forage D (m)	0,126
Débit Q (cm ³ /s)	2000
Accélération de la pesanteur g (m/s ² ou N/kg)	9,81
Pression en tête de forage p ₂ (bars)	4,16
Rugosité absolue du tuyau ε (mm)	0,12

Paramètres hydrodynamiques de la nappe

A partir des pompages d'essai réalisés sur la nappe aquifère de Monzougoudo par la DGEau du Bénin, nous avons obtenus quelques valeurs de paramètres hydrodynamiques. La température de la nappe est constante de 20 °C, le fluide qui est de l'eau a une masse volumique $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, une viscosité dynamique $\mu = 10^{-3} \text{ Pa.s}$ et une viscosité cinématique $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, (DGEau, Bénin).

Formulation des équations dans le forage

Le but est à présent de connaître la valeur de la pression en tête de forage. Il faut donc estimer l'évolution de la pression le long de la conduite. Pour cela on utilise le théorème de Bernoulli qui s'écrit :

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho_w g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho_w g} + z_2 + \Delta h \quad (1)$$

Avec

p_1 : pression en pied de forage; p_2 : pression en tête de forage; v_1 : vitesse en pied de forage; v_2 : vitesse en tête de forage; z_1 : cote de pied de forage; z_2 : cote de tête de forage; Δh : perte de charge le long du forage

Pour estimer la perte de charge, on utilise la formule de Darcy-Weisbach qui s'écrit :

$$\Delta h = \lambda \frac{H}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

où :

Δh : perte de charge le long du forage ; H : profondeur du forage; λ : coefficient de perte de charge ; D: diamètre du forage ; v : vitesse.

Le Reynolds est calculé de la manière suivante:

$$R_e = \frac{vD}{\vartheta} \quad (3)$$

v : vitesse du fluide; D : diamètre du forage ; ϑ : viscosité cinématique du fluide ;

Les données utilisées pour calculer le nombre de Reynolds sont principalement les données géométrique et hydrodynamique du forage et de la nappe; alors on a

$$R_e = \frac{v.D}{\vartheta} = \frac{0,16*0,126}{0,89.10^{-6}} = 2,26.10^4$$

Cet écoulement permanent est donc à régime turbulent.

La formule de Colebrook a été utilisée pour déterminer le coefficient de perte de charge λ

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{2,51}{R_e\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71D}\right) \quad (4)$$

L'équation de Colebrook-White est une équation implicite de (λ) ; cela pose un problème de résolution itérative. Pour ce faire le calcul du coefficient de perte de charge λ se fait par méthode itérative ou par utilisation des formules approchées fonction de la rugosité relative ε/D et du nombre de Reynolds Re .

Pour contourner cette difficulté, des formules explicites ont été proposées, parmi lesquelles, celle d'Achour et Bedjaoui (2006) que nous avons proposé pour calculer λ :

Partant de l'équation de Colebrook-White ; posons que :

$$\lambda = \left[-2\log\left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{10,04}{\bar{R}}\right)\right]^{-2} \quad (5)$$

Le paramètre \bar{R} figurant dans cette relation représente le nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement dans un modèle rugueux de référence. La relation de \bar{R} établie et proposée par Achour et Bedjaoui (2006) est fonction de la rugosité relative ε/D et du nombre de Reynolds Re caractérisant l'écoulement dans le casing considéré :

$$\bar{R} = 2R_e \left[-\log\left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{5,5}{R_e^{0,9}}\right)\right]^{-1} \quad (6)$$

Cependant pour s'assurer que la formule proposée (5) constitue la solution exacte de l'équation de Colebrook-White (4), il serait intéressant de la comparer à cette dernière.

En considérant les données géométrique et hydrodynamique du forage et de la nappe, on a :

$$\text{La rugosité relative : } \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,12 \cdot 10^{-3}}{0,126} = 9,52 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{La section du casing : } s' = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,126)^2}{4} = 0,0125 \text{ m}^2$$

$$\text{La vitesse du fluide : } v = \frac{Q}{s'} = \frac{0,002}{0,0125} = 0,16 \text{ m/s}$$

$$\text{Le nombre de Reynolds : } Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0,16 \cdot 0,126}{0,89 \cdot 10^{-6}} = 2,26 \cdot 10^4$$

Puisque $Re > 4000$ et $\frac{\varepsilon}{D} = 9,52 \cdot 10^{-4}$ donc l'écoulement est turbulent. On calcule alors le coefficient de perte de charge avec la formule explicite (5). Le paramètre \bar{R} est calculé par la formule (6):

$$\bar{R} = 2 \times 2,26 \cdot 10^4 \left[-\log \left(\frac{9,52 \cdot 10^{-4}}{3,7} + \frac{5,5}{(2,26 \cdot 10^4)^{0,9}} \right) \right]^{-1}$$

$$\bar{R} = 14888,01$$

La valeur du coefficient de perte de charge $\lambda_{Achour/Bedjaoui}$, obtenue à partir de l'équation (5) est égale à :

$$\lambda_{Achour/Bedjaoui} = \left[-2 \log \left(\frac{9,52 \cdot 10^{-4}}{3,7} + \frac{10,04}{14888,01} \right) \right]^{-2} = 0,027212$$

En remplaçant cette valeur du coefficient de perte de charge dans l'équation (4) on obtient :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{Colebrook}}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{2,26 \cdot 10^4 \sqrt{0,027212}} + \frac{9,52 \cdot 10^{-4}}{3,71} \right)$$

Par suite :

$$\lambda_{Colebrook} = 0,027212$$

Et donc la valeur absolue de la différence entre $\lambda_{Colebrook}$ et $\lambda_{Achour/Bedjaoui}$ nous donne:

$$|\lambda_{Colebrook} - \lambda_{Achour/Bedjaoui}| < 10^{-4}$$

Les résultats obtenus avec les formules (4) et (5) montrent que l'erreur est de l'ordre 10^{-4} ce qui confirme que la formule explicite du coefficient de perte de charge λ proposée par Achour et Bedjaoui (2006) est une solution exacte de l'équation (4) de Colebrook-White.

La loi de conservation de la masse du fluide s'écrit :

$$\text{div} \vec{v} = 0 \quad (7)$$

où \vec{v} est la vitesse d'écoulement.

Expression mathématique de l'écoulement dans le forage

En utilisant les relations (3) et (4) on obtient la formule générale de calcul du coefficient de perte de charge qui devient :

$$\lambda = \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{10,04}{2R_e \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/d}{3,71} + \frac{5,5}{R_e^{0,9}} \right) \right]^{-1}} \right) \right]^{-2} \quad (8)$$

puisque :

$$R_e = \frac{vD}{\vartheta} \quad \text{et} \quad v = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

on a alors :

$$\lambda = \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{3,941 D \vartheta}{Q \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + 4,423 \frac{D^{0,9} \vartheta^{0,9}}{Q^{0,9}} \right) \right]^{-1}} \right) \right]^{-2} \quad (9)$$

avec ε : la rugosité absolue

De même d'après la formule (2) la perte de charge dans le forage s'écrit :

$$\Delta h = \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{3,941 D \vartheta}{Q \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + 4,423 \frac{D^{0,9} \vartheta^{0,9}}{Q^{0,9}} \right) \right]^{-1}} \right) \right]^{-2} \frac{H}{D} \frac{16Q^2}{2\pi^2 D^4 g} \quad (10)$$

Après simplification on a :

$$\Delta h = 0,811 \frac{H.Q^2}{gD^5} \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{3,941 D \vartheta}{Q \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + 4,423 \frac{D^{0,9} \vartheta^{0,9}}{Q^{0,9}} \right) \right]^{-1}} \right) \right]^{-2} \quad (11)$$

En posant $H = z_2 - z_1$ et en considérant la relation et (9) on obtient le théorème de Bernoulli (1) qui s'écrit :

$$\frac{p_1}{\rho_w g} - H = \frac{p_2}{\rho_w g} + 0,811 \frac{H \cdot Q^2}{g D^5} \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{3,941 D \vartheta}{Q \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + 4,423 \frac{D^{0,9} \vartheta^{0,9}}{Q^{0,9}} \right) \right]^{-1}} \right) \right]^{-2} \quad (12)$$

soit:

$$p_2 = p_1 - \rho_w g H - 0,811 \frac{H \cdot \rho \cdot Q^2}{D^5} \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{3,941 D \vartheta}{Q \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + 4,423 \frac{D^{0,9} \vartheta^{0,9}}{Q^{0,9}} \right) \right]^{-1}} \right) \right]^{-2} \quad (13)$$

et puisque la pression au pied du forage est donnée par la relation (Codo, 1989):

$$p_1 = p_{st} - \frac{\mu Q}{2\pi e k} \ln \left(\frac{R}{a} \right) \quad (14)$$

Avec

p_1 : la pression en pied de forage ; p_{st} : la pression statique dans le réservoir,

k : perméabilité intrinsèque du milieu ; R : le rayon d'action du forage ;

a : le rayon du forage ; μ : la viscosité dynamique du fluide, Q : le débit ;
 e : l'épaisseur du réservoir

On a alors la relation (13) qui devient :

$$p_2 = p_{st} - \frac{\mu Q}{2\pi e k} \ln \left(\frac{R}{a} \right) - \rho_w g H - 0,811 \frac{H \cdot \rho \cdot Q^2}{D^5} \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{3,941 D \vartheta}{Q \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + 4,423 \frac{D^{0,9} \vartheta^{0,9}}{Q^{0,9}} \right) \right]^{-1}} \right) \right]^{-2} \quad (15)$$

En faisant l'approximation Laurent et al., (1972): $\ln \left(\frac{R}{a} \right) = 2\pi$

$$p_2 = p_{st} - \frac{\mu Q}{e k} - \rho g H - 0,811 \frac{H \cdot \rho \cdot Q^2}{D^5} \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{3,941 D \vartheta}{Q \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + 4,423 \frac{D^{0,9} \rho^{0,9}}{Q^{0,9}} \right) \right]^{-1}} \right) \right]^{-2} \quad (16)$$

En remplaçant H par la variable z, on peut déterminer la pression à une altitude quelconque z dans le forage par la relation suivante :

$$p_2 = p_{st} - \frac{\mu Q}{e k} - \rho g z - 0,811 \frac{z \cdot \rho \cdot Q^2}{D^5} \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{3,941 D \vartheta}{Q \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} + 4,423 \frac{D^{0,9} \rho^{0,9}}{Q^{0,9}} \right) \right]^{-1}} \right) \right]^{-2} \quad (17)$$

Résultats et discussion de l'écoulement dans le forage

Dans cette partie, on présentera les résultats obtenus par le modèle hydraulique développé pour le forage. On commence par le calcul de la pression statique du réservoir d'eau souterraine.

La pression statique du réservoir n'était pas disponible dans les données obtenues à la Direction Générale de l'Eau. Elle a été estimée à partir de la profondeur du forage, en prenant en compte la variation de la pression (Hubbert et al., 1957),

$$\frac{dp}{dz} = 0,14 \text{ bar/m} \quad (18)$$

donc, on a :

$$p_{st} = \frac{dp}{dz} * H \quad (19)$$

$$p_{st} = 0,14 \frac{\text{bar}}{\text{m}} \times 201\text{m} = 28,14 \text{ bars}$$

Pour vérifier cette valeur de la pression, une autre méthode a été utilisée, (Codo et al., 2012) qui affirme que, l'expression de la pression en tête de forage peut s'écrire:

$$p_2 = p_1 - \rho_w g H - \lambda \rho_w H \frac{v^2}{2D} \quad (20)$$

La pression au pied de forage p_1 et le coefficient de perte de charge λ sont donnés par les relations suivantes (Codo, 1989):

$$p_1 = p_{st} - \frac{\mu Q}{2\pi e k} \ln\left(\frac{R}{a}\right) \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{0,086}{Re^{0,2}} \quad (21)$$

En remplaçant le nombre de Reynolds par :

$$R_e = \frac{vD}{\nu} \quad \text{et} \quad \nu = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (22)$$

Le coefficient de perte de charge λ peut s'exprimer par :

$$\lambda = 0,086 \left(\frac{\pi}{4}\right)^{0,2} \frac{D^{0,2}}{Q^{0,2}} \nu^{0,2} \quad (23)$$

Ainsi la pression en tête de forage s'écrit :

$$p_2 = p_{st} - \rho_w gH - \frac{\mu Q}{2\pi e k} \ln\left(\frac{R}{a}\right) - 0,06642 \rho_w \frac{H}{D^{4,8}} Q^{1,8} \nu^{0,2} \quad (24)$$

En considérant que :

- la nappe est captive et l'écoulement permanent,
- le débit de production Q et du rabattement maximal $s_{max} = h_R - h_w$

Michael (ESS 454 ; Hydrogeology) a défini la capacité spécifique C_s :

$$C_s = \frac{Q}{s_{max}} = \frac{Q}{h_R - h_w} \quad (25)$$

qui est approximativement égal à la transmissivité T :

$$T = \frac{Q}{(h_R - h_w)} \cdot \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{R}{a}\right) \quad (26)$$

Soit

$$T = C_s \cdot \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{R}{a}\right) \quad (27)$$

Si l'on tient compte de cette hypothèse de Michael Brown, alors : $T = C_s$

d'où : $\ln(R/a) = 2\pi$; qui est l'approximation de Laurent et al., (1972),

alors, la pression statique dans le réservoir qui s'écrit :

$$p_{st} = p_2 + \rho_w gH + \frac{\mu Q}{e k} + 0,06642 \rho_w \frac{H}{D^{4,8}} Q^{1,8} \nu^{0,2} \quad (28)$$

En remplaçant les données géométriques et hydrodynamiques dans la formule (28), on a :

$$p_{st} = 28,14 \text{ bars}$$

Les deux méthodes de calcul de la pression statique donnent la même valeur ; ceci confirme la valeur de la pression statique dans le réservoir qui est de 28,14 bars.

Connaissant la pression statique la relation (17) nous a permis de tracer l'évolution de la pression dans le forage qui se présente sur la figure (2) comme suit :

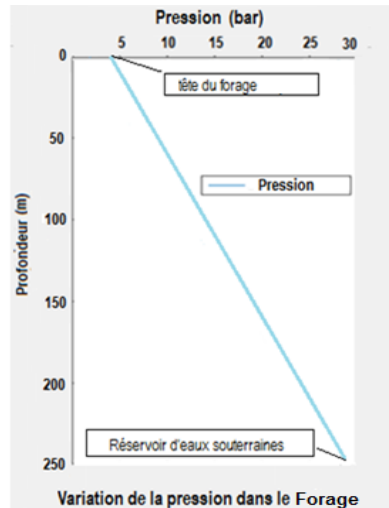


Figure 2 : Variation de la pression $p(z)$ dans le forage en fonction de la profondeur- z

La figure (2) montre la variation de la pression dans le forage en fonction de la profondeur. Cette figure permet de suivre la variation de la pression dans le forage en fonction de la profondeur par l'intermédiaire des piézomètres qui pourront être installés dans la localité de Monzougoudo. On peut voir que la valeur de la pression en tête de forage est bien de 4,16 bars, valeur égale à celle mesurée à partir du manomètre posé en tête de forage. Ceci confirme la valeur de la pression en tête de forage. Une fois cette vérification faite on pourra passer à une modélisation hydraulique du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo.

MODELE HYDRAULIQUE DU RESEAU DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE DE MONZOUNGOUDO

Présentation du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo

Le réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo d'une longueur totale de 2,425 Km assure la fourniture d'eau aux populations de ses différentes localités par l'intermédiaire des bornes fontaines. C'est un ouvrage sans réservoir (château d'eau) qui est alimenté à partir d'un forage artésien jaillissant. Ce réseau comprend en plus du forage, des conduites et des équipements qui sont regroupés dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 2 : Equipements et pièces du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo (source : DGEau, Bénin)

Equipements	Nombre	Observations
Coudes	03	
Vannes	01	
Bouchons	02	
Tés	01	
Manomètre	01	
Bornes fontaines	07	02 robinets fonctionnels

Le schéma du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo est représenté sur la figure 3

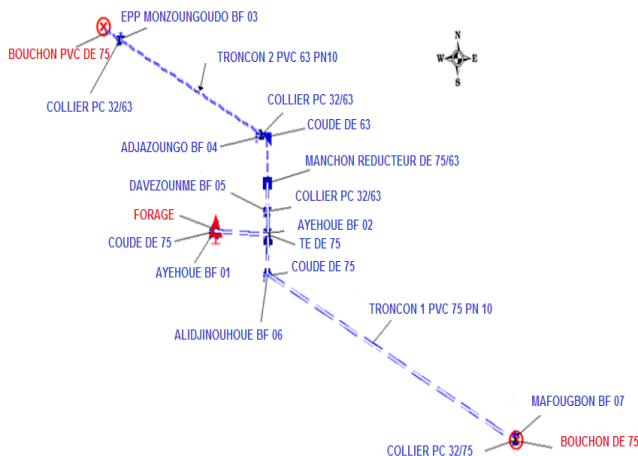


Figure 3 : Réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo (DGEau-Bénin)

Analyse des données

La collecte des données relatives aux différentes composantes du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo (forage, conduites, bornes fontaines....) est faite moyennant des fiches techniques élaborées par la DGEau à partir des enquêtes de terrain relatives aux équipements et aux ouvrages hydrauliques. L'exploitation des données de terrain, à l'issue de leur archivage, permet de connaître l'historique du réseau et de réaliser des statistiques permettant d'élaborer les indicateurs de performance et d'apporter les arguments techniques au programme d'intervention de la DGEau.

Analyse des fiches techniques de la DGEau

La première étape dans l'analyse des données d'un réseau de distribution d'eau potable, consiste à réunir tous les documents représentatifs des données que l'on souhaite modéliser. Partant de ces documents, la phase d'analyse consiste à en extraire les informations nécessaires qui vont constituer la future base de données. Les documents que nous avons utilisés pour cette analyse sont les fiches techniques suivantes : tronçons, bornes fontaines.

Fiche technique des tronçons du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo

Les données de base contenues dans la fiche technique des tronçons du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo concernent :

- les nœuds initial et final;
- le diamètre;
- la longueur;

Fiche technique des bornes fontaines de Monzougoudo

La principale donnée contenue dans la fiche technique des bornes fontaines est la demande qui est de 50L/min au niveau de chacune des 07 Bornes Fontaines du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo.

Modélisation et simulation du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo

La modélisation hydraulique du réseau d'eau potable de Monzougoudo est faite en vue de diagnostiquer son fonctionnement actuel. Pour ce faire, nous

avons eu recours au logiciel EPANET. Nous avons utilisés les informations archivées dans la base de données élaborée pour le réseau en question.

Construction du modèle hydraulique

Le modèle hydraulique du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo est construit en se basant principalement sur les composantes physiques (Nœuds, conduites, bête, pompes) ainsi que les valeurs de leur propriétés. Les coefficients de rugosité attribués aux différentes conduites sont de types Hazen-Williams, puisque la formule de Hazen-Williams est la formule de perte de charge la plus utilisée pour les réseaux de distribution d'eau potable (Ennabli, 2001). Les côtes (altitudes) sont extraites à partir de la fiche technique des tronçons du réseau de distribution d'eau de Monzougoudo et affectées aux nœuds du réseau. Les demandes sont par suite attribuées à chacun des nœuds du modèle. Une fois le modèle du réseau de distribution d'eau potable construite, la simulation est lancée.

La figure 4 présente le schéma des composantes physiques de notre réseau

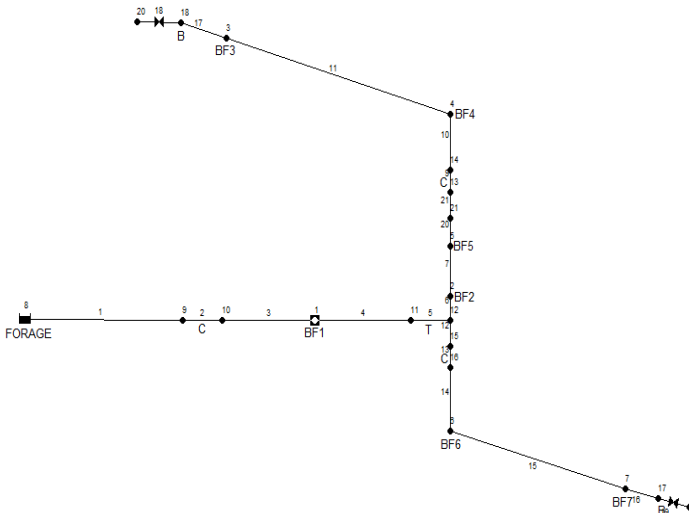


Figure 4 : Modèle du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo (Interface EPANET 2)

Simulation numérique du réseau avec EPANET

Le modèle de simulation hydraulique EPANET calcule la pression au niveau des nœuds et les vitesses dans les tronçons du réseau de distribution. Dans le présent travail où le réseau est sans réservoir (château d'eau) et sans équipement d'exhaure (pompe). Nous avons utilisé la bêche infinie pour modéliser le forage artésien jaillissant de Monzougoudo, la donnée d'entrée nécessaire étant la charge hydraulique (altitude + pression en tête de forage). Après le choix des paramètres, on peut lancer la simulation.

Présentation des résultats de la simulation

Les résultats de la simulation du comportement hydraulique de notre réseau peuvent être affichés sous forme de schémas et de tableaux.

Dans le présent travail, nous avons envisagé les cas suivants :

- on dispose dans un premier temps d'un forage ayant une charge hydraulique de 92,5 mCE et débitant 120 l/mn.
- puis dans un second, on dispose de deux forages ayant chacun une charge hydraulique de 92,5 mCE et débitant chacun 120 l/mn.

Après le lancement d'une simulation réussie de notre réseau sur EPANET dans chacun des cas ci-dessus cités, les schémas de la figure 5 et de la figure 6 apparaissent chacun sur un écran, ces schémas traduisent l'état de notre réseau au moment de la simulation. La légende à droite du schéma indique les plages des valeurs de pression en utilisant différentes couleurs. Cette légende est propre aux nœuds c'est-à-dire les nœuds de demande, les baches et les réservoirs. La légende des débits nous donnent les différents débits dans les arcs: conduites, pompes et vannes.

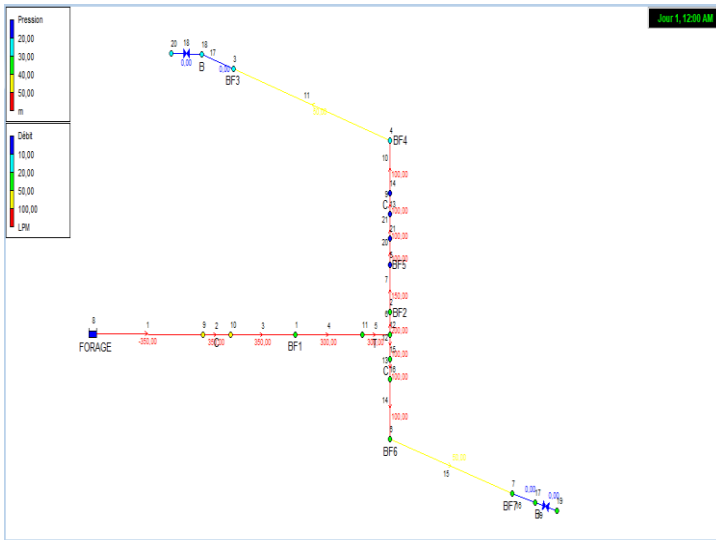


Figure 5 : L'état du système après la simulation (Interface EPANET 2) : cas où on dispose d'un forage

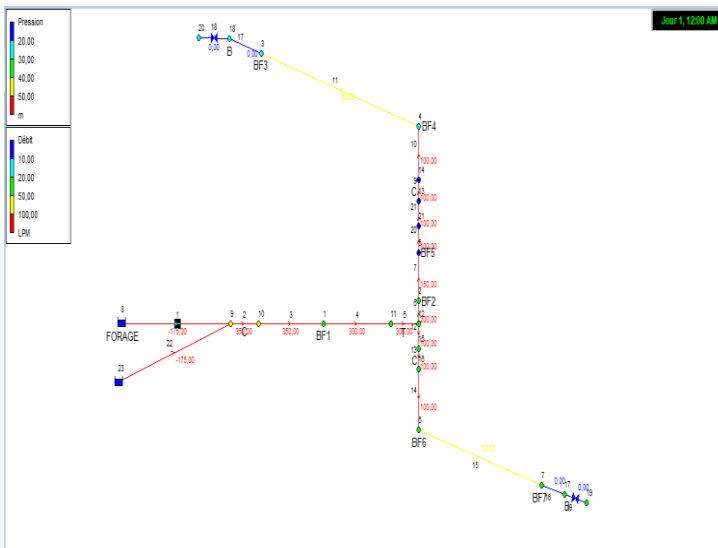


Figure 6 : L'état du système après la simulation (Interface EPANET 2) : cas où on dispose de deux forages

Affichage des résultats sous forme de tableaux

L'affichage des données de base et des résultats de la simulation se fait sous forme de tableaux. Les tableaux des éléments du réseau listent les propriétés et les résultats de tous les composants physiques (nœuds ou arcs) à un instant déterminé de la simulation.

Tableau de l'état des nœuds du réseau

Les résultats calculés aux nœuds à un instant donné de la simulation sont :

- la charge hydraulique (ou hauteur piézométrique) : somme de l'altitude avec la hauteur de pression ;
- la pression.

Les résultats obtenus après la simulation par EPANET 2, pour les nœuds se présentent comme suit dans le tableau 3 pour le cas où nous avons un forage de production et dans le tableau 4 pour le cas où nous avons deux forages de production.

Tableau 3 : Tableau de l'état des arcs du réseau

<p>Tableau 4 : Etat des nœuds du réseau après la simulation cas où on dispose de deux forages</p>	<p>Tableau 3 : Etat des nœuds du réseau après la simulation cas où on dispose d'un forage</p>
--	--

ID Nœud	Demande LPM	Charge m	Pression m
Nœud 1	50,00	92,14	38,44
Nœud 2	50,00	87,62	36,52
Nœud 3	50,00	84,93	25,93
Nœud 4	50,00	86,04	27,14
Nœud 5	50,00	87,28	16,48
Nœud 6	50,00	87,33	39,93
Nœud 7	50,00	86,50	35,00
Nœud 9	0,00	92,28	41,38
Nœud 10	0,00	92,19	41,29
Nœud 11	0,00	87,71	34,01
Nœud 12	0,00	87,66	33,96
Nœud 13	0,00	86,21	15,41
Nœud 14	0,00	86,19	15,39
Nœud 15	0,00	87,35	33,65
Nœud 16	0,00	87,34	33,64
Nœud 17	0,00	86,50	35,00
Nœud 18	0,00	84,93	25,93
Nœud 19	0,00	86,50	35,00
Nœud 20	0,00	84,93	25,93
Nœud 21	0,00	87,06	16,26
Bâche 8	-350,00	92,50	0,00

ID Nœud	Demande LPM	Charge m	Pression m
Nœud 1	50,00	91,59	37,89
Nœud 2	50,00	87,07	35,97
Nœud 3	50,00	84,38	25,38
Nœud 4	50,00	85,49	26,59
Nœud 5	50,00	86,73	15,93
Nœud 6	50,00	87,78	39,38
Nœud 7	50,00	85,95	34,45
Nœud 9	0,00	91,73	40,83
Nœud 10	0,00	91,64	40,74
Nœud 11	0,00	87,16	33,46
Nœud 12	0,00	87,10	33,40
Nœud 13	0,00	85,66	14,86
Nœud 14	0,00	85,64	14,84
Nœud 15	0,00	86,80	33,10
Nœud 16	0,00	86,79	33,09
Nœud 17	0,00	85,95	34,45
Nœud 18	0,00	84,38	25,38
Nœud 19	0,00	85,95	34,45
Nœud 20	0,00	84,38	25,38
Nœud 21	0,00	85,51	15,71
Bâche 8	-175,00	92,50	0,00
Bâche 23	-175,00	92,50	0,00

Les valeurs calculées pour les conduites sont : Le débit, la vitesse d'écoulement et la perte de charge. Pour les pompes, les principaux paramètres calculés sont: le débit et le gain de charge hydraulique (m). Pour une vanne les éléments calculés en sortie de simulation sont le débit et la perte de charge hydraulique.

*Conception d'un modèle hydraulique pour le réseau de distribution d'eau potable de
Monzougoudo au Benin*

Les résultats obtenus après la simulation par EPANET 2, pour les arcs se présentent comme suit dans le Tableau 5 pour le cas où nous avons un forage de production et dans le Tableau 6 pour le cas où nous avons deux forages de production.

Tableau 5 : Etat des arcs du réseau après la simulation cas où on dispose d'un forage

ID Arc	Débit LPM	Vitesse m/s	Pert.Charge Unit m/km
Tuyau 2	350,00	1,32	188,62
Tuyau 3	350,00	1,32	28,77
Tuyau 4	300,00	1,13	21,39
Tuyau 5	300,00	1,13	73,60
Tuyau 6	200,00	0,75	9, 87
Tuyau 7	150,00	0,57	5,73
Tuyau 9	100,00	0,53	32,65
Tuyau 10	100,00	0,53	6,44
Tuyau 11	50,00	0,27	1,79
Tuyau 12	100,00	0,38	2,69
Tuyau 13	100,00	0,38	15,76
Tuyau 14	100,00	0,38	2,69
Tuyau 15	50,00	0,19	0,76
Tuyau 16	0,00	0,00	0,00
Tuyau 17	0,00	0,00	0,00
Tuyau 20	100,00	0,38	2,69
Tuyau 21	100,00	0,53	6,44
Tuyau 1	-350,00	1,32	28,77
Vanne 18	0,00	0,00	0,00
Vanne 19	0,00	0,00	0,00

Tableau 6 : Etat des arcs du réseau après la simulation cas où on dispose de deux forages

ID Arc	Débit LPM	Vitesse m/s	Pert.Charge Unit m/km
Tuyau 2	350,00	1,32	188,64
Tuyau 3	350,00	1,32	28,77
Tuyau 4	300,00	1,13	21,39
Tuyau 5	300,00	1,13	73,58
Tuyau 6	200,00	0,75	9, 87
Tuyau 7	150,00	0,57	5,73
Tuyau 9	100,00	0,53	32,63
Tuyau 10	100,00	0,53	6,44
Tuyau 11	50,00	0,27	1,79
Tuyau 12	100,00	0,38	2,69
Tuyau 13	100,00	0,38	15,74
Tuyau 14	100,00	0,38	2,69
Tuyau 15	50,00	0,19	0,76
Tuyau 16	0,00	0,00	0,00
Tuyau 17	0,00	0,00	0,00
Tuyau 20	100,00	0,38	2,69
Tuyau 21	100,00	0,53	6,44
Tuyau 1	-175,00	0,66	7,67
Tuyau 22	-175,00	0,66	7,67
Vanne 18	0,00	0,00	0,00
Vanne 19	0,00	0,00	0,00

DISCUSSION DES RESULTATS

Les résultats présentés sur les figures 5 et 6, les tableaux 3 à 6 reflètent l'état des paramètres hydrauliques de notre réseau de distribution d'eau potable au moment de la simulation.

On remarque que 30% des tronçons composant le réseau de distribution de la zone d'étude se caractérisent par des vitesses hors normes (inférieure à 0,5 m/s) et donc 70% des tronçons composant ce réseau, se caractérisent par des vitesses respectant les normes (vitesses comprises entre 0,5 m/s et 1,5 m/s), pour les deux cas de simulation; ainsi le réseau de distribution d'eau de Monzougoudo sera alors amélioré.

D'après les résultats obtenus, les pressions enregistrées au niveau de tous les nœuds du réseau sont positives et sont inférieures à 60 mCE pour les deux cas de simulation effectuée. Aussi le caractère négatif de la demande enregistrée au niveau des bâches, lors des deux cas de simulation signifie que les bâches sont en mesure de satisfaire les demandes en question.

PROPOSITIONS D'AMELIORATION DU FONCTIONNEMENT DU RESEAU

Dans les conduites où nous avons enregistré des vitesses faibles (inférieures à 0,5 m/s et des vitesses élevées (supérieures à 1,5m/s) lors du diagnostic du fonctionnement du réseau d'eau potable de Monzougoudo, on conclut que les faibles vitesses occasionnent des dépôts dans les conduites réduisant ainsi la section de l'écoulement et les fortes vitesses occasionnent des fuites dans le réseau. Afin de protéger le réseau au niveau de ces zones, nous recommandons de réhabiliter le réseau pour avoir des paramètres hydrauliques pouvant corriger les vitesses.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude est d'élaborer un modèle hydraulique pour le réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo en se basant sur les fiches techniques élaborées par la DGEau à partir des enquêtes de terrain relatives aux équipements et aux ouvrages hydrauliques. Ainsi, l'analyse de ces fiches techniques ont conduit à la mise en place d'un modèle hydraulique satisfaisant pour les besoins des gestionnaires du réseau de distribution d'eau potable de Monzougoudo. Le logiciel EPANET utilisé a permis de diagnostiquer le fonctionnement actuel du réseau de distribution d'eau potable de

Monzougoudo et de proposer les interventions nécessaires. Le diagnostic du fonctionnement dudit réseau a permis d'identifier les conduites dans lesquelles les vitesses sont hors normes (vitesses non comprises entre 0,5 m/s et 1,5 m/s).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHOUR B. et BEDJAOUI A. (2006). Calcul du coefficient de frottement en conduit circulaire sous pression. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, no05, pp.197-200.
- AYARI K., CHABAANE L. Z., (2015). 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.
- BOUTEBBA K., BOUZIANE M.T., Bouamrane A. (2014). Aide à la décision pour l'optimisation de la Gestion des réseaux d'alimentation en eau potable. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, no 20, pp.279-296.
- BERLAND J. M., JUERY C. (2002). Structure par âge des systèmes d'alimentation en eau potable et d'assainissement. Paris, France, 120p.
- CHAOUI S., HOUICHI L., TEBBI F. Z. (2016). Simulation numérique par la méthode des caractéristiques des écoulements transitoires en charge dans une conduite d'adduction gravitaire. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, no25, pp.83-99.
- CODO F.P. (1989). Etude Analytique des coactions hydrodynamiques et thermodynamique entre les réservoirs, les puits de production et de Réinjection Géothermiques. Thèse de Doctorat ès Sciences Minières, Université Polytechnique de l'Industrie Lourde Miskolc, Hongrie, 127p.
- CODO F.P., ADANHOUNMÈ V., and ADOMOU A. (2012). Analytical approach for the determination of complex potential and pressure in the production and reinjection wells of geothermal reservoir. Journal of Applied Sciences Research, ISSN 1819-544X, no8, pp.261-266.
- HARROUZ O., BREMOND B., HABI M., HARROUZ A. (2017). Modèle de simplification des réseaux d'eau potable. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, no30, pp.253-272.
- HUBBERT M.K., WILLIS D.G. (1957). Mechanics of hydraulic fracturing. Petroleum, Trans, AIME, Vol. 210, pp153-168.
- ROSSMAN L. A. (2003). EPANET 2 Simulation hydraulique et qualité pour les réseaux d'eaux sous pression, manuel de l'utilisateur. USA, 222p.
- LAURENT H., FABRIS et GRINGARTEN A.C. (1972). Etude des possibilités d'exploitation de l'eau chaude du DOGGER dans la région du CORBEIL ESSONNES (91). Rapport BRGM, Département de Géothermie, Orléans, 41p.