

RÉGIME DE CONSOMMATION EN EAU ET SON UTILISATION DANS LE CALCUL DES RÉSEAUX D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Taofic BACHAROU, Gossou HOUINOU, Edmond C. ADJOVI*
et Moudachirou ADJIBOICHA

*École Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi,
01 BP 2009 Cotonou, Bénin*

*Correspondance, e-mail : *edmond.adjovi@epac.uac.bj*

RÉSUMÉ

La présente étude concerne l'évolution du régime de consommation en eau et son utilisation dans le calcul des réseaux de distribution. En effet, les méthodes classiques de calcul des réseaux de distribution se basent sur le débit de pointe qui est estimé constant, alors que les besoins en eau des populations sont très variés et augmentent constamment dans le temps à l'échelle des villes en développement. Au cours des décennies 1980 et 2000, la consommation d'eau des ménages a fortement augmenté. Au Bénin, elle est passée de 20 litres par jour et par habitant en 1975, à 80 litres par jour et par habitant en 2010. Se fondant sur cette tendance, les études prospectives des années sur les besoins en eau ont le plus souvent émis l'hypothèse d'une expansion continue de la demande. Cependant, pour le choix du diamètre, on fait généralement intervenir le seul débit de pointe d'avenir à l'horizon du projet.

Il en résulte un diamètre de conduite et des paramètres hydrauliques qui ne répondent pas aux aspirations de fonctionnement optimal du réseau. Le choix d'un diamètre important conduit à avoir un prix de la canalisation élevé, cependant la perte de charge est faible, car $\Delta H_t = f(I/D^5)$, on économise donc sur le prix du groupe et sur le prix de l'énergie nécessaire au pompage. Par contre, si on adopte un petit diamètre, le prix de la conduite est plus faible mais le prix du groupe et les frais d'exploitation sont plus élevés. Il y a donc intérêt à choisir le diamètre qui permettra d'obtenir le prix de revient minimal de l'ensemble (conduite et installation en exploitation). Pour cela, nous avons élaboré une relation générale donnant le diamètre économique en faisant permettant d'étudier l'évolution de la consommation et tous les paramètres pouvant intervenir dans le calcul du diamètre économique ou diamètre optimum.

Mots-clés : *réseau d'alimentation, consommation, régulation, diamètre économique, coût.*

ABSTRACT**REGIME OF CONSUMPTION IN WATER AND ITS USE IN THE CALCULATION OF THE FOOD SYSTEMS IN DRINKING WATER**

The present study concerns the evolution of the consumption regime in water and its use in the calculation of the distribution systems. Indeed, the classic methods of calculation of the distribution systems are based on the peak debit that is estimated constant, whereas the needs in water of the populations are varied very and increase constantly in the time to the scale of the cities in development. During the decades 1980 and 2000, the consumption of water of the households increased strongly. To Benin, it passed of 20 liters per day and per capita in 1975, to 80 liters per day and per capita in 2010. Founding on this tendency, the prospective studies of the years on the needs in water have the most often gave out the hypothesis of a continuous expansion of the demand. However, for the choice of the diameter, one makes intervene generally on the horizon the only peak debit of future of the project.

A diameter of conduct and the hydraulic parameters that doesn't answer the aspirations of optimal working of the system results from it. To have raised does the choice of an important diameter bring to a price of the pipeline, is the loss of load on the other hand weak, because $H_t=f(1/D_5)$ does one therefore save on the price of the group and on the price of energy necessary to the pumping. On the other hand, if one adopts a small diameter, the price of the conduct is weaker but the price of the group and the expenses of exploitation are raised more. There is interest therefore to choose the diameter that will permit to obtain the price of comes back minimal of whole (conduct and installation in exploitation). For it, we elaborated a general relation giving the economic diameter while making study the evolution of the consumption and all parameters capable to intervene in the calculation of the economic diameter or optimum diameter.

Keywords: *flood system, consumption, regulation, economic diameter, cost.*

I – INTRODUCTION

La demande en eau dans un système d'alimentation en eau potable varie selon l'année, la saison, la journée et même d'une heure à l'autre au cours de la même journée. Cette demande dépend étroitement du niveau de vie qui évolue sans cesse, des conditions météorologiques variables avec la saison et même avec la journée, et de l'heure de la journée à laquelle elle se manifeste [1-3]. Ainsi la consommation en eau potable des populations varie de façon importante ; elle est très influencée par le type du dispositif d'alimentation en eau, la disponibilité de la pression, les habitudes culturelles, les normes et les modes de vie, l'utilisation qui est faite de l'eau, ainsi que son coût et sa qualité. Malgré les investissements majeurs dans le

secteur de l'eau réalisés durant les dernières décennies, moins de 50 % de la population africaine a accès à l'eau potable et la consommation globale unitaire tourne autour d'une vingtaine de litres par personne et par jour [4], alors que le seuil tolérable selon l'Organisation Mondiale de la santé (OMS) est de 100 l/j/pers [4]. Cette insuffisance dans l'approvisionnement en eau potable s'explique essentiellement par la méconnaissance de la demande en temps réel. En effet, l'analyse de la demande s'est jusqu'à présent focalisée sur les besoins de sorte que les quantités d'eau à fournir ainsi que les prix dépendent pour une large part de l'évolution de la population, de son mode de vie, etc. [5].

En Afrique et dans la plupart des pays du monde, les besoins en eau des populations sont très variés et augmentent constamment dans le temps à l'échelle des villes en développement. Au cours des années comprises entre 1980 et 2000, la consommation d'eau des ménages a fortement augmenté. Au Bénin, elle est passée de 20 litres par jour et par habitant en 1975, à 80 litres par jour et par habitant en 2010 [6]. Les prévisions de la demande en eau potable dans la ville de Cotonou pour les horizons 2010 et 2020 sont respectivement 19 millions et 27 millions de m³ d'eau [7]. Se fondant sur cette tendance, les études prospectives des années sur les besoins en eau ont le plus souvent émis l'hypothèse d'une expansion continue de la demande. L'estimation d'une fonction de la demande en eau potable dans le temps offre un instrument fiable pouvant permettre une meilleure gestion des ressources en eau, d'éviter le gaspillage et le surcoût que pourrait engendrer un excès d'offre. La parfaite connaissance de la demande est une orientation pour de futurs travaux d'extension du réseau, et peut servir de repère pour la constitution de la prévision d'eau pendant les périodes de pointes de saisons sèches et éviter les refoulements pendant les saisons pluvieuses.

Dans les méthodes de détermination de la consommation en eau, on peut distinguer trois courants majeurs [8]. Le premier est basé sur des modèles de « logiques intuitives », axés sur des outils qualitatifs pour l'analyse des dynamiques d'évolution du système d'Alimentation en Eau Potable (AEP). Le deuxième est lié à des approches probabilistes. L'analyse porte sur les probabilités de dévier dans l'avenir des tendances d'évolution observées jusqu'à présent en déterminant la probabilité d'occurrence d'un évènement particulier. Enfin, le troisième appelé « La prospective » utilise des modèles qui permettent d'imaginer les multiples futurs possibles à partir de la mise en œuvre d'une stratégie ou de mesures des consommations antérieures. L'élaboration d'un projet de distribution d'eau potable nécessite toujours de réaliser une approche aussi fine que possible des besoins à satisfaire lors des épisodes de pointe. La détermination des débits des tronçons peut être cernée à partir de la synthèse des consommations annuelles et des modes de procédé, il n'en est pas de même pour la consommation domestique qui revêt un caractère aléatoire [9].

Afin d'optimiser le fonctionnement d'un réseau d'APE, le choix des hypothèses relatives aux débits de pointe doit être clair, sachant qu'un surdimensionnement

excessif, par souci de sécurité et de fiabilité, entraîne souvent des coûts de réalisation excessifs, des dysfonctionnements chroniques des installations de pompage et de surpression, des problèmes qualitatifs liés aux temps de séjour dans les canalisations. Les causes principales des variations de débit engendrées par les abonnés domestiques sont l'évolution des besoins aux cours de la semaine et du mois, la modification du rythme de vie de la population au cours de la journée de forte consommation, de la simultanéité des consommations.

L'objectif du présent travail est d'améliorer les méthodes existantes et de trouver des approches de solutions aux problèmes pour lesquels l'information sur les régimes de consommation est nécessaire. Il s'agit de calculer le diamètre optimal des conduites du réseau en fonction du coefficient de variation de la consommation et des facteurs économiques.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Modélisation du débit horaire

A la conception, la prévision du régime de consommation permet de définir les diamètres des conduites, les volumes de régulation des réservoirs ou les dépenses d'énergie relatives au transport de l'eau. En plus, tous les débits attendus pendant la période de calcul sont pris en compte. A l'exploitation du système d'alimentation en eau potable, la prévision des débits est nécessaire pour de courtes périodes (quelques heures, journées...), mais dans ce cas outre les débits attendus, il faut connaître le temps d'apparition de l'un ou de l'autre débit c'est-à-dire qu'on a besoin de la prévision du graphique de variation de la consommation. Ces graphiques doivent servir de base pour la résolution des problèmes d'exploitation tels que la répartition optimale des débits de pompage.

Les données les plus complètes sur l'ensemble des débits horaires peuvent être obtenues si la fonction de répartition de ces débits est connue. Pour ce faire, le régime de consommation constitue la base de la conception du système d'AEP.

Pour l'élaboration de la méthode de prévision à long terme du régime de consommation, la méthode la plus rationnelle de description des répartitions empiriques s'inscrit dans l'utilisation de formule analytique simple puisque la tendance d'utiliser des lois théoriques de répartition connues (par exemple la loi normale) peut créer d'énormes complications. Elles sont liées à ce que la forme des différentes répartitions empiriques sur différents systèmes soit instable et dépend fortement des débits de nuit. Seulement pour les réseaux dont les débits de nuit sont très élevés (par exemple les pertes), peut être utilisée la loi normale de répartition.

Les variables de dimensionnement du réseau d'AEP sont définies comme suit :

- consommation moyenne journalière

$$Q_{mj} = \frac{V_{aj}}{365 \text{ jours}} \quad \text{où } V_{aj} - \text{le volume annuel journalier en m}^3/\text{an} \quad (1)$$

- consommation de pointe journalière

$$Q_{jp} = K_1 * Q_{mj} \quad (2)$$

où K_1 est le coefficient majorateur journalier

- consommation de pointe horaire Q_{hp} en m^3/h

$$Q_{hp} = \frac{K_2 * Q_{jp}}{24} = \frac{K_1 * K_2 * Q_{jp}}{24} \quad (3)$$

où K_2 est le coefficient majorateur horaire

Dans le but de l'élaboration de la fonction analytique de répartition des débits, un traitement statistique et une analyse des courbes des débits annuels dans les stations de pompage de plusieurs villes du Bénin et des résultats de mesure des débits sur les conduites ont permis d'estimer les valeurs minimales $K_{1\min}$ et les valeurs maximales $K_{2\min}$ pour les débits avec une probabilité de satisfaction des besoins sur le résultat obtenu à 0,98 % (*Figure 1*) [6].

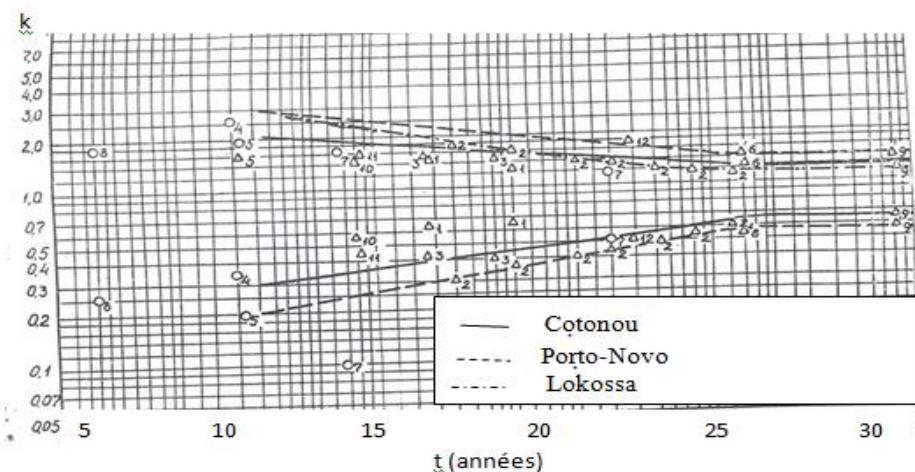


Figure 1 : Variation de K_{jmax} et K_{jmin} en fonction de Q_{jmoy}

L'allure des courbes paramétrées (*Figure 1*) s'apparente à la loi de puissance. Elle répond à la proportion de débit journalier correspondant à une période donnée qui permet de démontrer que la fonction recherchée est de la forme :

$$Q = \frac{Q_{J_{\max}}}{Q_{J_{moy}}} = a \left(\frac{t}{t_{\max}} \right)^K = a T^K \quad (4)$$

Où, $Q_{J_{\max}}$ - le débit journalier maximale au terme du projet ; $Q_{J_{moy}}$ - le débit journalier moyen pendant la durée de vie ; t - le temps partiel considéré ; t_{\max} – l'horizon du projet (terme du projet); T – le temps considéré rapporté à la durée de vie de l'ouvrage, il est considéré égal à 1.

$Q_{J_{moy}}$ et t_{\max} étant constante, on peut écrire,

$$\frac{dQ}{dT} = \frac{d \frac{Q_{\max}}{Q_{moy}}}{d \frac{t}{t_{\max}}} = \frac{t_{\max} dQ_{\max}}{Q_{moy} dt} \quad (5)$$

$$\text{or } T = \frac{t}{t_{\max}} \Rightarrow dt = t_{\max} * dT \quad \text{alors } dQ = a K T^{K-1} dT \quad (6)$$

par conséquent, on peut écrire le débit horaire de la manière suivante :

$$Q_h = K Q_{h_{moy}} T^{K-1} \quad (7)$$

$Q_{h_{moy}}$ – le débit horaire moyen, m^3/h ;

Dans l'équation (7), K est choisi avec une probabilité de non dépassement de 98 % ($K = K^{98\%} = Q_h^{98\%}/Q_{h_{moy}}$) c'est-à-dire la probabilité de satisfaction des besoins sur le résultat obtenu égal à 98 %. Le coefficient K n'est pas lié à des journées spécifiques (par exemple aux journées de consommation de pointe), mais est défini à partir de l'ensemble des débits de la période considérée. Par ailleurs, les coefficients de corrélations moyennes respectivement égales à $r = 0,92$ et $r = 0,95$ pour les villes de Lokossa et Cotonou permettent de conclure que le modèle théorique des débits (7) est proche de la réalité. La dispersion des débits horaires est définie par la formule :

$$D = \frac{(K-1)^2}{2K-1} Q_{h_{moy}}^2 \quad (8)$$

Les erreurs absolues de l'équation (4) donnent une valeur arithmétique égale à 0 et un écart type de 1,5 % Q_j. La plus grande erreur de l'équation (4) s'observe dans les zones de faibles débits (débits de nuit). Les critères de précision de l'équation (4) ont permis de faire des conclusions sur l'utilisation de la fonction analytique des régimes de consommation proposée. La condition suffisante s'inscrit dans l'utilisation du modèle à la conception des systèmes d'alimentation en eau potable. Ce qui facilitera l'étude de quelques problèmes souvent rencontrés dans la pratique.

L'expression analytique de la consommation obtenue peut être utilisée pour une prévision à long terme pendant la conception d'un projet. Pour cela, il suffit de connaître le débit horaire moyen Q_h pendant l'année considérée et le coefficient de variation de la consommation horaire K. Le débit horaire moyen est défini en fonction de la consommation spécifique q_s et du nombre N d'habitants ; le coefficient de variation de la consommation horaire (K) dépend des facteurs influençant le régime de consommation et les besoins réels en eau des populations.

II-2. Détermination des diamètres économiques des conduites

La détermination des diamètres économiques D des conduites implique souvent l'utilisation du facteur économique Θ, paramètre dépendant des conditions techniques et économiques de construction du système d'AEP. Outre cela, le facteur économique et le diamètre de la conduite dépendent de la variation de la consommation exprimée en fonction coefficient de dépense d'énergie d'AEP γ. Le coefficient γ permet de déterminer la partie variable des dépenses énergétiques pendant la durée de vie de l'ouvrage et se définit comme le rapport de la valeur moyenne des dépenses (P_{moy}) aux dépenses d'énergie au moment du pompage du débit maximal (P_{max}). En utilisant l'équation (7), on peut calculer les dépenses d'énergie pour le transport de l'eau dans une conduite à chaque heure de fonctionnement du système.

Des formules empiriques permettent d'orienter le choix du diamètre [11]. Il s'agit de :

a) la formule de Bresse:

$$D = 1.5Q^{1/2} \quad (9)$$

b) la formule de Bonnin :

$$D = Q^{1/2} \quad (10)$$

c) la formule de Vibert:

$$D = 1.35(e/f)^{0.154} Q^{0.46} \quad (11)$$

e - le prix du kilowattheure ; f : le prix du kilogramme de conduite posée.

d) la formule de Bedjaoui :

$$D = 1.27 Q^{1/2} \quad (12)$$

Ces formules servent à calculer le diamètre optimal pour des petits projets ($DN < 300$) avec une longueur de quelques kilomètres. Au-delà de ces conditions il faut procéder à l'optimisation économique par une évaluation minutieuse des conditions de fonctionnement de la conduite avec la station de pompage qui lui est attachée. La vitesse dans la conduite varie en général de 0.5 en début de projet à 1.2 m/s en situation de charge maximale.

Le choix optimal des diamètres d'une conduite de refoulement pour de grandes longueurs résulte de la prise en compte de deux paramètres économiques essentiels: le coût de la conduite et son entretien qui croissent avec l'augmentation du diamètre de la conduite et le coût de l'énergie de pompage qui croît avec la baisse du diamètre. Le diamètre optimal est celui qui minimise le coût de l'investissement, le coût de l'opération et la maintenance et le coût de l'énergie.

Le coût annuel de l'investissement est le prix d'acquisition ramené à l'année, C_{AM} : c'est le coût d'amortissement y compris les frais financiers. Il est composé de deux termes, la fourniture, la pose et l'essai de pression. Les pièces spéciales seront négligées dans la comparaison pour autant que le changement de diamètre n'entraîne pas l'installation d'appareils spéciaux tels que l'anti-bélier.

Le prix de la fourniture d'un mètre linéaire de conduite rendu sur le lieu de pose est exprimé en fonction du coût de la quantité de matière usinée ayant servi à sa fabrication :

$$P_F = [\pi * D * e * \rho_m] * P_u \quad (13)$$

d - diamètre de la conduite ; e - épaisseur de la conduite ; ρ_m - masse volumique du matériau ; P_u - coût unitaire de la conduite.

Le prix de la pose et de l'essai de pression peut comporter un élément fixe, P_1 , notamment l'exécution de la tranchée et une partie proportionnelle, P_2 , dépendant du diamètre de la conduite

$$P_P = P_1 + P_2 * D \quad (14)$$

P_1 - coût de l'exécution de la tranchée; P_2 - coût dépendant du diamètre de la conduite.

Le coût annuel de l'investissement est le coût d'amortissement donné par la formule suivante :

$$C_{AM} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} (P_F + P_P) \quad (15)$$

Où i= : taux d'annuité compris entre 8 % et 12 % ; n= durée de l'amortissement en années ; P_F = Coût de la fourniture ; P_P = Coût de la pose et essai de pression.

Le coût d'entretien de la conduite C_{entr} résulte des coûts de mise à disposition de pièces des éléments pour la réparation, la logistique nécessaire ainsi que le personnel. Le coût d'entretien annuel est souvent pris comme un pourcentage des coûts de construction variant en général de 0.2 à 1 % dépendant de la nature de la conduite, des conditions de pose, de l'effet de l'environnement sur la conduite, du coût de la main d'oeuvre.

Le coût de l'énergie de pompage C_{pomp} : la hauteur géométrique étant la même, la variation du coût de l'énergie de pompage est liée à la valeur restante de la HMT c'est-à-dire les pertes de charge engendrées par le diamètre choisi et ramenées au mètre linéaire de conduite :

$$P_E = \frac{\rho g Q_h}{\eta} J = \frac{\rho g Q_h}{\eta} * \frac{8\lambda Q_h^2}{g\pi^2 D^5} = \frac{\rho g S Q_h^3}{\eta} \quad (16)$$

P_E - la puissance réelle par mètre linéaire à chaque heure de fonctionnement de la pompe ;

η - le rendement de pompage ; ρ - la masse volumique de l'eau ; g – accélération de la pesanteur ; J – la perte de charge par unité de longueur ; Q – le débit de l'eau ; λ – coefficient de frottement par unité de longueur; S – la résistance hydraulique de la conduite.

En se référant aux théorèmes des moyennes, la puissance moyenne est :

$$P_{moy} = \int_0^1 \frac{\rho g S Q_h^3}{\eta} dT \quad (17)$$

En remplaçant Q_h par son expression (1) on a :

$$P_{moy} = \frac{\rho g}{\eta} \int_0^1 S(K Q_{hmoy} T^{K-1})^3 dT = SK^3 Q_{hmoy}^3 \frac{\rho g}{\eta} \int_0^1 T^{3(K-1)} dT = \frac{\rho g}{\eta} S Q_{hmoy}^3 \left(\frac{K^3}{3K-2} \right) \quad (18)$$

L'expression de α , fonction du coefficient k , atteint sa valeur optimale égale à 1 lorsque $k = 1$ valeur pour laquelle le débit $Q = Q_{\text{moy}}$ quelque soit la valeur de T . Pour $k > 1$ et $0.5 < T < 1$, $Q = Q_{\text{max}}$ (*Figure 2*).

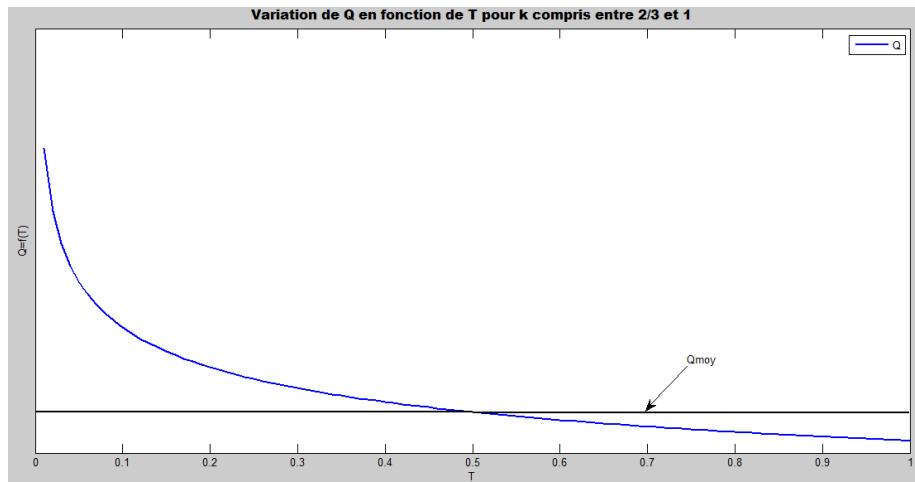


Figure 2: Variation de Q en fonction de T pour k compris entre $2/3$ et 1

Lorsque $0 < T < 0.5$, Q est supérieur à Q_{moy} pour k compris entre $2/3$ et 1 (*Figure 3*).

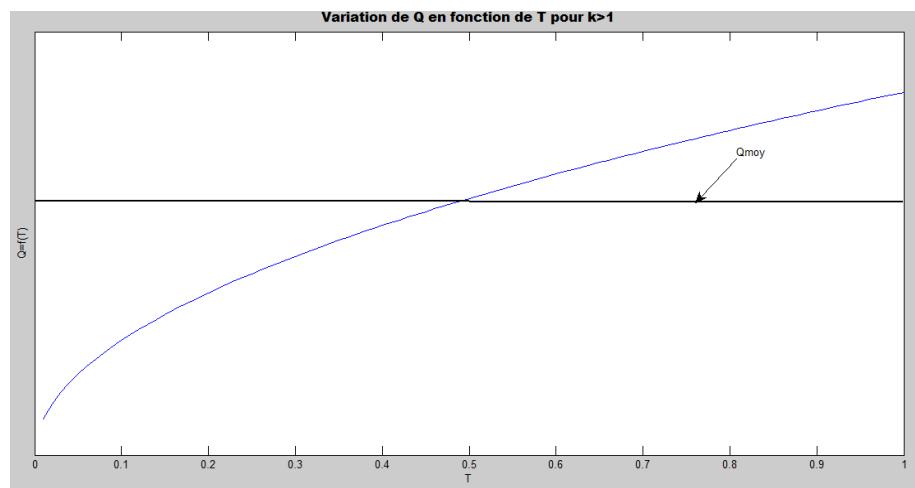


Figure 3 : variation de Q en fonction de T pour $k > 1$

La puissance maximale est obtenue pour $T = 1$, soit

$$P_{\max} = \frac{\rho g}{\eta} SK^3 Q^3_{h\text{moy}} \quad (19)$$

Ainsi le coefficient γ s'exprime en fonction de la variation de la consommation par la formule

$$\gamma = \frac{P_{\text{moy}}}{P_{\max}} = \frac{1}{3K - 2} \quad (20)$$

L'équation (20) montre que le coefficient γ des dépenses d'énergie dépend du régime de consommation. Plus le coefficient de variation de la consommation est grand (l'écart entre les débits est grand), le coefficient de dépenses d'énergie est petit et vice versa.

La précision de calcul de la partie variable des dépenses d'énergie (par conséquent γ) est définie par comparaison des dépenses d'énergie réelles, calculées à partir des valeurs des débits horaires.

Il est établi que l'utilisation du coefficient γ calculé par la formule (22) confirme la définition de la partie variable des dépenses d'énergie avec une erreur de 10 % quand au même moment avec l'utilisation des méthodes existantes l'erreur peut atteindre 100 % à 200 %. Ceci témoigne du fait qu'une étude correcte de la variation de la consommation horaire peut amener à un choix plus fondé des diamètres économiques des conduites.

Le coût de l'énergie de pompage C_{pomp} :

$$\begin{aligned} C_{\text{pomp}} &= \frac{P_E}{1000} * T_{\text{pomp-annuel}} * P_{\text{elec}} = \frac{P_E}{1000} * T_{\text{pomp-annuel}} * \frac{P_E}{\eta_m \eta_p} \\ &= \frac{(P_E)^2}{1000 \eta_m \eta_p} * T_{\text{pomp-annuel}} = \frac{(P_E)^2}{1000 \eta_{GR}} * T_{\text{pomp-annuel}} \end{aligned} \quad (21)$$

Où P_E – la puissance réelle de fonctionnement ; P_{elec} – la puissance électrique ; η_m , η_p , η_{GR} - sont respectivement les rendements du moteur, de la pompe et du groupe moteur-pompe ; $T_{\text{pomp-annuel}}$ – temps de fonctionnement égal à $t \cdot 365$ j où t est le nombre d'heures de fonctionnement par jours de la pompe.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le diamètre optimal recherché est celui qui minimise les coûts d'exploitation du couple pompe –conduite ou en termes mathématiques celui qui annule la valeur de la dérivée des coûts par rapport au diamètre :

$$\frac{d[C_{AM} + C_{entr} + C_{pomp}]}{dD} = 0 \quad (22)$$

En mettant les équations (13) et (14) dans (15) et en considérant que le coût d'entretien annuel est pris égal à 1% on a :

$$C_{AM} + Centr = 0,13[(\pi e \rho_m D)P_u + P_1 + P_2 D] \quad (23)$$

alors

$$\frac{d(C_{AM} + C_{entr})}{dD} = 0,13\pi e \rho_m P_u + P_2 \quad (24)$$

$$P_E = \frac{\rho g Q}{\eta} J \left(\frac{k^3}{3k - 2} \right)$$

avec

$$(25)$$

et qui représente la puissance moyenne avec $J = \frac{8\lambda Q^2}{g\pi^2 D^5}$

En supposant que l'écoulement se produit en conduites PVC, la formule de BLASIUS se révélerait plus précise d'après des expériences récentes. Ainsi λ ne dépend que de Re et s'exprime par : $\lambda = \frac{0,3164}{Re} = \frac{0,3164\pi D^2 \nu}{4Q}$

$$\text{avec } \nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ on a : } \lambda = 2.48 \cdot 10^{-7} \frac{D}{Q} \quad (26)$$

$$\text{soit } \frac{d\lambda}{dD} = \frac{2.48 \cdot 10^{-7}}{Q}$$

$$(27)$$

En dérivant (21) on a :

$$\frac{dC_{pomp}}{dD} = \frac{128\rho^2 Q^6}{1000\pi^2 \eta^2 D^{11}} \left(D \frac{d\lambda}{dD} - 5\lambda \right) Tp. \quad (28)$$

En remplaçant (27) dans (28) on a :

$$\frac{dC_{pomp}}{dD} = -3.239 \cdot 10^{-16} \frac{\rho^2}{1\eta^2} \frac{Q^4}{D^9} Tp. \quad (29)$$

En remplaçant (23) et (29) dans l'équation (22) on a:

$$0.13\pi e \rho_m P_u + P_2 = 3.239 \cdot 10^{-16} \frac{\rho^2}{1\eta^2} \frac{Q^4}{D^9} Tp.$$

d'où :

$$D = 0.19 \left(\frac{t_p}{0.41e\rho_m P_u + P_2} \right)^{0.11} Q^{0.44} \quad (30)$$

or $Q = Q_{hmoy} \left(\frac{k^3}{3k - 2} \right)$ puisque qu'elle représente la puissance nécessaire pour le fonctionnement des installations. En posant $\alpha = \left(\frac{k^3}{3k - 2} \right)$, (30) devient :

$$D = 0.19 \left(\frac{\alpha^4 t_p}{0.41e\rho_m P_u + P_2} \right)^{0.11} Q_{hmoy}^{0.44} \quad (31)$$

La relation (31) montre que le diamètre économique est proportionnel à la variation de la consommation et au temps de pompage et inversement proportionnel aux paramètres de la conduite et d'investissement.

Tableau I : calcul des débits pour un pompage de 24h/24 pour des conduites PVC pression 16 bars

D (mm)	Pu	e (mm)	ρ_m	P2	i	a	t	η	V (m/s)	Q (m ³ /s)
20	332.91	1.5	3307.1157	90909.091	0.008	0.01	24	0.77	0.8	1.603E-05
25	388.20	1.9	2925.7064	113636.36	0.008	0.01	24	0.77	0.8	2.844E-05
32	629.79	2.1	3232.3183	145454.55	0.008	0.01	24	0.77	0.8	5.909E-05
40	985.15	3	2811.0483	181818.18	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0001158
50	1526.02	3.7	2822.9891	227272.73	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0002261
63	1146.48	4.7	1764.3249	286363.64	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0003358
75	1567.78	5.5	2835.6515	340909.09	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0006318
90	2231.48	6.6	2102.7076	409090.91	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0010138
110	2991.03	8.1	1646.8237	500000	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0040375
125	4381.36	9.2	1580.5146	568181.82	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0025595
140	6299.25	9.5	1545.8731	636363.64	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0036339
160	6707.56	10.1	1537.6552	727272.73	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0050688
200	10850.66	12.3	1145.4246	909090.91	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0092583
250	17641.49	13.1	994.09615	1136363.6	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0170116
315	20675.54	14.5	710.46617	1431818.2	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0282079
400	33944.12	17.2	565.49926	1818181.8	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0541341
500	83308.31	19.7	460.19332	2272727.3	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.1104838

En réalité, on ne dispose que d'une série limitée des diamètres normalisés. Pour ce faire, on a utilisé des conduites en PVC de pression nominale 16 bars et des conduites en PEHD de pression nominale 16 bars. Les *Tableaux I et II* présentent les résultats d'application de la relation (31) pour les conduites PVC et PEHD de pression 16 bars.

Tableau II : *calcul des débits pour un pompage de 24h/24 pour des conduites PEHD pression 16 bars*

D (mm)	Pu	e (mm)	ρ_m	P2	i	a	t	η	V (m/s)	Q (m ³ /s)
20	332.91	2.6	1964.0676	90909.09091	0.008	0.01	24	0.77	0.8	5.467E-05
25	388.20	3	1896.3142	113636.3636	0.008	0.01	24	0.77	0.8	9.594E-05
32	629.79	3.6	1932.3448	145454.5455	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0001789
40	985.15	4.5	1911.2647	181818.1818	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0003145
50	1526.02	5.6	1902.7301	227272.7273	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0005532
63	2433.91	7.1	1191.5081	286363.6364	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0009904
75	3418.99	8.4	1894.7017	340909.0909	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0015501
90	4925.76	9.2	1531.4268	409090.9091	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0024564
110	5877.54	10	1345.9961	500000	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0040686
125	7592.80	11.4	1287.2637	568181.8182	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0056354
140	9524.47	12.7	1170.2052	636363.6364	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0075167
160	12512.57	14.6	1079.3941	727272.7273	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0105715
200	19680.40	16.4	868.25034	909090.9091	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0186135
250	30280.61	18.2	723.10486	1136363.636	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0327873
315	48480.28	20.1	517.23127	1431818.182	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.0587072
400	77693.14	22	444.84532	1818181.818	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.1078163
500	121522.09	23.9	380.95469	2272727.273	0.008	0.01	24	0.77	0.8	0.1903159

La *Figure 4* montre qu'une comparaison avec les formules de Bonnin, Bresse et Bédjaoui a révélé que la nouvelle approche qui n'est pas loin des ces relations, permet une réduction de la section de conduite de 20 % et 36 % respectivement par rapport à Bédjaoui et Bresse.

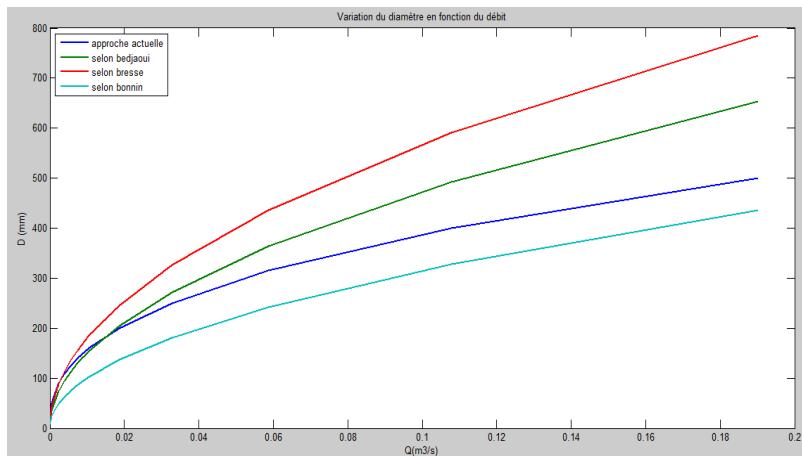


Figure 4 : variation du diamètre en fonction du débit

IV - CONCLUSION

La nouvelle approche offre une grande possibilité de calcul du diamètre économique prenant en compte tous les paramètres hydrauliques, économiques et des parois solides.

Les résultats obtenus ont montré que les débits de consommation peuvent varier dans un diapason optimal permettant de réduire les couts d'énergie. Une comparaison avec les formules de Bonnin, Bresse et Bédjaoui a révélé que la nouvelle approche qui n'est pas loin des ces relations, permet une réduction de la section de conduite de 20 % et 36 % respectivement par rapport à Bédjaoui et Bresse.

RÉFÉRENCES

- [1] - R. Blanic, 1971 - Les besoins en eau des agglomérations urbaines et des industrie. Revue de l'industrie Minérale-Mines, Novembre, 732-752
- [2] - R. Deveaux, R. Giry, 1977 - Contribution à la connaissance des consommations moyennes et de pointe d'eau potable en milieu rural. TSM, Avril, 147-157.
- [3] - A. Divenot, 1978 - Température de l'air et demande en eau. TSM, Juillet, 391-396.
- [4] - A. Savina, A. Mathys, 1994 - L'alimentation en eau en milieu urbain dans les quartiers défavorisés: une question de partage?, programme d'alimentation en eau et d'assainissement PNUD-Banque Mondiale, groupe régional de l'eau et de l'assainissement, Afrique de l'ouest, Abidjan.

- [5] - P. Point, Partage de la ressource en eau et demande d'alimentation en eau potable, revue économique, n°4 (1993) 849-862.
- [6] - SBEE, 1999 - Rapport d'activités. Cotonou, République du Bénin.
- [7] - Y. Soglo, N. Kibi, T. Thiombiano, 2002 - Détermination de la demande d'eau potable par la création d'un marché fictif basé sur le consentement à payer : cas de la ville de Cotonou au Bénin. Rapport CRDI 22 p.
- [8] - J. Tribut, 1969 - Détermination du débit de pointe à prendre en compte pour la desserte en eau potable de petits groupements de foyers. TSM, Octobre, 305-316.
- [9] - M. Messied, 1996 - Contribution a l'étude de l'écoulement uniforme et non uniforme, à surface libre, en régime turbulent rugueux. Thèse de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.
- [10] - A. Bedjaoui, B. Achour, M. T. Bouziane, 2005 - Nouvelle approche pour le calcul du diamètre économique dans les conduites de refoulement. Courrier du Savoir – N°06, pp.141-145.
- [11] - G. Dominique, 1997 - Prévision des demandes en eau en zone urbaine, CIHEAM-option méditerranéennes, séries A/n°31, séminaires méditerranéens, -168.