



## Étude de faisabilité d'adduction d'eau potable à Makomo en Ville de Butembo

Thierry Mumbere Matita<sup>1</sup>, Gerlas Muhindo Nzala<sup>2</sup>, Rose Mumbere Nzanzu<sup>3</sup>,  
et Remy Kitenge Sembele<sup>4</sup>

### Résumé

L'eau, c'est la vie. Manquer de l'eau met toute vie en danger imminent. La moitié de la population du site de Makomo, autour de la ville de Butembo, a besoin d'une eau potable adéquate. Il était nécessaire d'examiner l'état d'accessibilité, les moyens et équipements à utiliser et le type d'eau qui peut être offerte à la communauté. Géographiquement, avec des pentes larges et abruptes, l'accessibilité de Makomo à l'eau potable de la REGIDESO reste une question mystérieuse et coûteuse pour le gouvernement. Le développement des puits de captage et des forages pour soutenir en permanence le réseau d'eau local reste une voie d'acheminement sûre pour fournir de l'eau potable à la communauté. Le captage, la tuyauterie, le pompage et l'installation des réservoirs et accessoires associés offriront une réelle possibilité de pérennité. Des analyses chimiques, biochimiques, microbiologiques et bactériologiques doivent être effectuées pour la santé publique pour l'approvisionnement en eau potable. Ce projet apporte une solution vitale permanente aux besoins de santé publique à Makomo.

**Mots-clés** : Approvisionnement en eau, quartier périurbain, analyse microbienne, santé publique.

### Abstract

Water is life, and lacking it puts life in imminent danger. Half of the population in the Makomo site around Butembo town needs more complete drinking water. It was necessary to examine the accessibility status, the means and equipment to be used, and the type of water that can be offered to the community. Geographically, with broad and steep slopes, Makomo's accessibility to drinking water from REGIDESO remains a mysterious issue that is costly to the government. Developing wells and drillings to permanently support the local water network remains a safe conveyance route to provide drinking water to the community. The capturing, piping, pumping, and installation of the tanks and related accessories will offer a real possibility of intertwining. Chemical, biochemical, microbiological, and bacteriological analyses should be carried out for public health and drinking water supply. This project brings a permanent vital solution to the public health needs at Makomo.

**Keywords:** Water supply, peri-urban district, microbial analysis, public health.

<sup>1</sup> Ir constructeur, Assistant d'enseignement à l'ISTA Lukanga, université de Lukanga

<sup>2</sup> Ir. Architecte, Assistant d'enseignement à l'Institut du bâtiment et travaux publics de Butembo

<sup>3</sup> Assistante d'enseignement en Santé publique de l'ISTM Nyakundi à Bunia

<sup>4</sup> Assistant d'enseignement en soins infirmiers à l'université du professeur Mutumbi à Kinshasa.

## **Introduction**

Des annales scientifiques montrent que l'eau occupe les  $\frac{3}{4}$  de la superficie terrestre, les terres arides et habitables aussi alimentées, le  $\frac{1}{4}$  restant (ONU, 2011). L'eau est le fondement des équilibres écologiques d'usages multiples, à plus d'être source de vie (ONU, 2018). L'eau constitue 90% du poids d'un nouveau-né et 70% de celui des adultes (Assiteb, 1997). Elle maintient et développe la vie et les activités des espèces. A plus de l'importance biologie, économique, l'eau est un aliment, un éventuel médicament, une matière première en industrie, en énergétique, en agriculture, et un moyen de transport. Ses avantages sont aussi visibles en artisanat, aux loisirs aquatiques (nage, baignade, ...) et pour des fins alimentaires (eau de boisson, cuisine), domestiques et d'hygiène (Festy et Tricard, 2003). Aucune activité humaine ne peut se réaliser sans eau. Son absence entraîne ipso facto la fin de toute existence des espèces.

Le rapport des Nations Unies montre que plus d'un milliard des personnes au tiers monde spécialement en Afrique, Asie et Amérique latine n'accèdent pas à l'eau de qualité (OMS, 2014) par manque de bonne gouvernance des autorités politiques et administratives.

L'accès à la qualité d'eau potable est un problème de santé universelle. Le manque d'eau favorise la transmission des maladies à 80% d'origine hydrique, tuant des millions des personnes chaque année. En 2000, cette préoccupation avait mis les Nations Unies à se pencher à la question d'accès à l'eau potable, dans l'un de ses objectifs du millénaire pour le développement (OMD) à l'horizon 2015. Des maladies diarrhéiques avaient fort diminué par des projets d'adduction d'eau ; fournir et traiter l'eau, se protéger contre la ré-contamination (OMS, 2014).

La RD Congo où plusieurs villages, bourgs, cités et villes sont qualitativement très peu desservis en eau potable, n'en fait pas exception. L'adduction d'eau est un ensemble d'infrastructures et des techniques qui transportent l'eau potable de sa source jusqu'au robinet des consommateurs. C'est un processus à étapes dont : le captage à la source (rivière, plan d'eau, nappe), l'épuration et recueillement qualitatif, l'analyse biochimique et microbienne approfondie. L'objectif est de protéger la santé des populations en besoin, contre les maladies d'origine hydrique.

La population de Makomo par son perché géographique sur une pente raide semble être la zone cible pour y initier un projet d'adduction d'eau potable comme solution permanente pour la population de la ville de Butembo. La question vise l'état de lieu d'accessibilité à l'eau potable, moyens et équipements de production, de transport, de stockage et de fourniture quantitative. Un réseau local et permanent d'adduction à accès facile y serait initié. Le captage, les tuyauteries, la pompe, le réservoir et autres accessoires liés au transport et stockage d'eau pour faire le socle de faisabilité dans le site de Makomo pour desservir la ville en eau potable.

Des analyses chimiques et biochimiques, microbiologiques et bactériologiques seront pris en compte au préalable pour déterminer la conformabilité de l'eau captée à toute consommation a toute quiétude. L'approvisionnement possible et permanente en eau potable (Velmuradova, 2004), influencera le projet vers une solution durable pour lutter contre les maladies hydriques en ville de Butembo. Cette étude a pour objectifs de rendre possible l'accessibilité géographique à l'eau à Makomo, vérifier l'état des sources et des puits ; étudier les fournitures possibles, et initier le projet d'adduction en eau potable en ville de Butembo.

## Méthodologie

Cette recherche-action était faite sur base d'approche descriptive-expérimentale. Selon Bernard (1998), la méthode expérimentale est un outil gratifié des sciences naturelles dont l'aménagement du territoire et assainissement de milieu. Elle s'exprime diversement en attitudes et actions dans ses principes prônées par Granier (2012) au projet d'adduction d'eau à savoir: 1) *l'observation* d'un phénomène (manque d'eau potable par pente raide) comme question, 2) *l'hypothèse* envisagée, 3) *l'expérimentation* en place certifiant ou rejetant l'hypothèse, induisant un protocole sévère (isoler les paramètres), 4) *les résultats* requérant des mesures complémentaires d'expériences, 5) *l'interprétation* : analyse critique des résultats ouvrant sur une conclusion ou une nouvelle expérimentation, et *la conclusion* (*la préparation* descriptive correcte du terrain, *l'expérimentation* manipulant les outils et *l'évaluation*). L'expérimentation des résultats exige une juste réponse à l'observation initiale.

Le schéma OHERIC de Granier ci-dessous, explique les étapes à suivre pour l'expérimentation d'adduction d'eau potable à Makomo, Ville de Butembo :

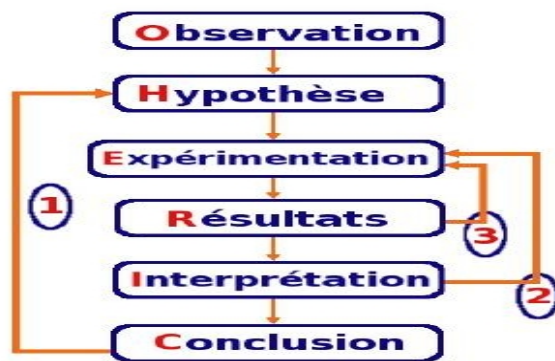


Figure 1. Schéma OHERIC

Le test des pré-supposées était utilisé en cas de doute aux résultats pour le contrôle des paramètres et refaire l'expérience. L'étude descriptive du terrain, accompagner de la manipulation applicative des outils du projet à son exécution/inauguration, ses étapes étaient scrupuleusement observées.

## Résultats

### Les préalables pour l'expérimentation d'un projet d'adduction d'eau

Un projet d'adduction d'eau exige la conception et la construction d'un réseau adapté au milieu, l'adduction et l'alimentation, le captage et l'étude de faisabilité, le réservoir de décantation avant la distribution, le château d'eau (réservoir surélevé) en débit et à dotation (Banga, 2019), les coudes, vannes, ventouses et puisards ; les vidanges, les pompes centrifuges en catégories ou volumétrique en catégories ; l'accès à l'eau potable ; les bornes fontaines et les robinets.

Dans la projection de l'adduction d'eau en milieux ruraux et périurbains, les maisons et les villages sont approvisionnés aux puits. On puise par brocs, cruches ou seaux en quantité insuffisante, n'améliorant pas l'hygiène personnelle ni la santé (Thibault, 2004). La distribution par des conduites par une source centrale pour chaque maison à Makomo reste le seul élément à prendre à compte. Les étapes de production d'eau sont le captage, le dégrillage, le tamisage, la décantation, la filtration à sable, l'ozonation (élimination de

microorganismes et désinfection de l'eau) et la filtration au charbon actif ou par chloration, enfin le contrôle qualité et le contrôle sanitaire restent de mise, au service de la population.

Les résultats descriptifs de la démographie de Makomo entre 2018 et 2022 ont évolué et sont représentés dans le tableau ci-après :

**Tableau 1. Évolution démographique de la population de Makomo**

Année	Homes	Femmes	Garçons	Filles	Total
2018	443	495	598	567	2103
2019	461	562	650	749	2422
2020	486	639	775	931	2831
2021	513	722	917	1023	3175
2022	562	876	1193	1399	4030

La statistique démographique de Makomo a doublé, passé de 2103 âmes en 2018 à 4030 âmes en 2022, de 562 ménages. Les résultats en topographie montrent que la population de Makomo est en danger d'effets des maladies d'origine hydrique. La préoccupation est que la hauteur et la raideur de la pente perchante Makomo aux montagnes accuse l'impossibilité d'accès à l'eau potable. C'est pourquoi cette recherche-action démontre la possibilité d'adduction d'eau potable en évaluation de débit à projection en adaptant les ouvrages pour satisfaire les besoins de cette population croissante.

La planification d'investissements à distribution d'eau satisfaisante est possible à vue des prévisions à horizon chroniqueur de vie de ces aménagements avec la provision de la dotation en eau en milieu urbain de 100 litres par jour, par habitant. Au regard de l'évolution démographique normale, la quantité d'eau à consommer à Makomo en 16 ans est estimée à la consommation journalière par rapport au nombre de population en 2038. L'accroissement arithmétique fixe la population pour 2038 et le besoin en eau à 2038.

La loi de projection démographique pour un projet dit :  $P_2 - P_1 = Ka(t_2 - t_1)$

- $P_2$  et  $P_1$  : Population ; et  $T_2$  et  $T_1$  : Temps
- La population en 2018 = 2103 ;
- La population en 2022 = 4030

Or  $P_2$  est la population en 2022 et  $P_1$  la population en 2018,  $Ka$  étant le taux d'accroissement. Le taux d'accroissement ( $Ka$ ) pour la population de Makomo à Misebere est :

- $4030 - 2103 = Ka(2022 - 2018)$
- $1927 = 4Ka \Leftrightarrow 4Ka = 1927 \Rightarrow K_a = \frac{1927}{4} = 481$
- $P_n = P_2 + Ka(T_n - T_2)$
- $P_n$  = Population par année de projection (pour 16 ans, soit jusqu'à 2038).
- $P_{2038} = 4030 + 481(2038 - 2022)$
- $P_{2038} = 4030 + 481 \times 16$
- $P_{2038} = 4030 + 7696 = 11726$

Le calcul de besoin en eau ( $Q_B$ ) considère l'année de projection c'est-à-dire détermine la population à 2038. Celle-ci virera à 11726 habitants au lieu de 4030 habitants à 2022. Sachant que la dotation en ville est de 100 litres par jour et par habitant (Kahighanam 2019), alors un besoin en eau vaudra :

$$Q_B = 100 \text{ litres/hab/jour} \times P_n \text{ (année de projection)}$$

$$Q_B = 100 \text{ litres} \times 11726 \text{ hab} = 1172600 \text{ litres/jour}$$

$Q$  = Débit

$Q_s$  = Débit par seconde

$Q_B$  = Besoin en eau

Sachant que  $1m^3$  vaut 1000litres, alors en  $m^3$  ça sera

$$= \frac{1172600}{1000} = 1172,6m^3 \approx 1173m^3$$

Les calculs de besoin en eau par seconde partent du jour, équivalant 24h. Alors qu'une heure vaut 3600secondes, le jour vaut 24h multiplier par 3600 secondes qui donnent 86400 secondes. Ainsi donc,  $Q_s$  donnera  $Q_s = \frac{1173}{86400} = 0,0135 m^3 / s$ , le litre valant 0,0135 multiplier par 1000litres donne 13,5L/s  $\approx$  14L/s. Ces données font la base de concevoir un réseau d'eau potable à desservir la population.

### Conception et dimensionnement du réseau d'eau potable

La conception d'un réseau de distribution d'eau potable a des facteurs d'influence tels que l'emplacement des quartiers, l'emplacement des consommateurs, le relief et le souci d'assurer un service souple et précis. Cette conception exige de concevoir les conduites d'une adduction basé sur le débit, l'espace, la qualité de l'eau et la géotechnique. Pour Benariba (2020), la conception du réservoir dans ses fonctions de régulation du débit, de la pression et de la sécurité d'approvisionnement, la simplification d'exploitation, et la lutte incendie est pris en compte pour les types de réseau ramifié, maillé et étagé, considérant les principes de tracé ; le dimensionnement calculant = 5le débit des sources suivant la loi des litres la seconde comme suit :

$$\text{Source1 : } (V_1 = 20l \text{ et } t_1 = 40s) \Rightarrow Q_1 = \frac{20}{40} = 0,5 l/s,$$

$$\text{Source2: } (V_2 = 20l \text{ et } t_2 = 60s) \Rightarrow Q_2 = \frac{20}{60} = 0,33 l/s \text{ et}$$

$$\text{source3 : } (V_3 = 20l \text{ et } t_3 = 55s) \Rightarrow Q_3 = \frac{20}{55} = 0,3636 l/s$$

D'où :  $V$ =Volume (litre ou  $m^3$ ),  $t$ = Temps (seconde ou minute) et  $Q$ = Débit (litre ou  $m^3/s$ ).

Le débit en  $m^3$  divisant par 1000.  $Q_1 = \frac{0,05}{1000} = 0,0005m^3/s$ ,  $Q_2 = \frac{0,33}{1000} = 0,00033m^3/s$ ;

$Q_3 = \frac{0,3636}{1000} = 0,0003636m^3/s$  et le débit total vaut le débit de toutes les sources à

$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (0,0005 + 0,00033 + 0,0003636) m^3/s = 0,00119m^3/s$ . Par échelle, un litre vaut 1000L, le calcul du débit en litre vaudra  $0,00119 \times 1000$  et qui donnera 1,1936l/s.

### Calculs de diamètre de la conduite

A chaque source de bac de collecte qui alimentera le réservoir d'eau, il faut construire une conduite pour éviter les pertes et fuite d'eau sur le lit de la conduite. Ayant tout rassemblé et réduit au minimum les fuites et perte, calculer ce qu'équivaudra au diamètre global et à la vitesse d'écoulement dans la tuyauterie.

Avec la conduite de la source 1 vers le bac de collecte, il se calcule par la formule de Bress :

$$\emptyset = 1,5 \sqrt{Q_{plein}}$$
 avec  $Q_{plein}$  équivalent de  $2Q$  de la source. Or  $Q_1 = 0,0005m^3/s$ .

$$Q_{plein} = 2 \times 0,0005m^3/s \text{ ce qui fera } Q_{plein} = 0,001m^3/s$$

$$\emptyset = 1,5 \sqrt{0,001} ;$$

$\emptyset = 0,047m$  soit  $\emptyset = 47mm$  de diamètre, reliant la source 1 et le bas de collecte en écoulement en surface libre. Pour le calcul de la vitesse d'écoulement dans la tuyauterie, il est très bien connu que :

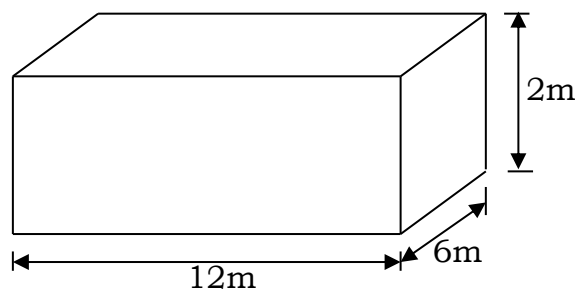
$$Q = V \times S \Rightarrow S = \frac{\pi \phi^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,047)^2}{4} = 0,0017m^2$$

$$S_1=0,0017m^2$$

$$V_1 = \frac{Q_{plein}}{S_1} = \frac{0,001}{0,0017} = 0,558m/s$$

Les mêmes calculs de diamètre et de vitesse d'écoulement se répètent pour la source 1, 2, 3... n, jusqu'à collecter les eaux à mesure de satisfaire la population à présent et dans les seize même vingt ans à venir. Ainsi le bac de collecte sera construit avec précision et netteté, tout en excluant les possibilités des pertes des charges.

- Le bac de collecte, pour le dimensionnement dont la quantité  $Q_T=0,00119m^3/s$  et pour le temps, en prenant 24h comme sources, sera toujours en train d'être rempli.
- Si le temps (T) équivaut à  $24 \times 3600$ , il donnera 86400sec.
- Alors, le volume de l'eau dans le bac obéira à la loi que ( $Vol= Q_T \times T$ ), ce qui donnera  $Vol= 0,0019m^3/S \times 86400$  qui donne  $102,816m^3/jour$ .
- Le bac de collecte aura une forme rectangulaire. Et, en fixant la hauteur 2m et le volume  $102,816m^3/j$  en sachant que le volume équivaut au nombre des litres par hauteur ( $V= L \times l \times H$ ) dont  $L= 2l$ .
- Ainsi étant clair,  $V= 2L \times L \times H$  donne  $V= 2L^2 \times H$ , pour faire  $102,816= 2L^2 \times 2 \Rightarrow 102,816 = 4l^2$ .
- $l^2 = \frac{102,816}{4} \Rightarrow l^2 = 25,704$
- $l = \sqrt{25,704} \Rightarrow l = 5,06m \approx 6m$
- $L= 2l$  qui est  $L= 2 \times 6$  et qui donne 12m. Donc le vol=  $2 \times 6 \times 12= 144m^3$ .
- Le volume trouvé est très élevé. Or, le besoin est d'un volume de  $102,816m^3$ .
- Donc pour le bac en étude, il est conseillé d'utiliser la loi de l'arbitraire et prendre  $L= 9m$ ,  $l= 6m$  et  $H= 2m$ . Le volume sera l'équivalent de  $V= 9m \times 6m \times 2m \Rightarrow V = 108m^3$ .

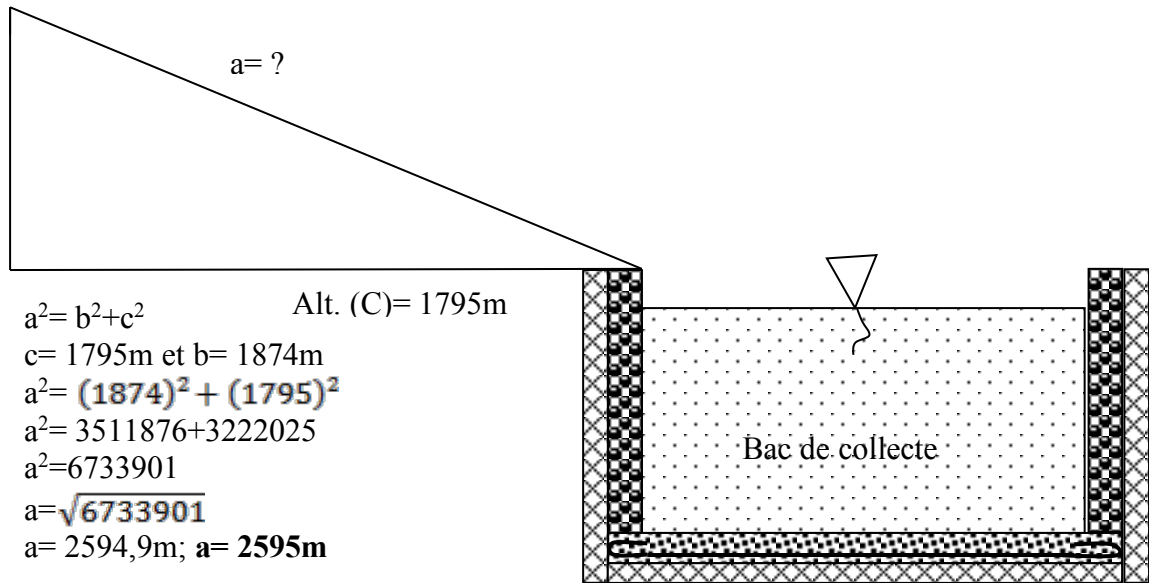


**Figure 2.** Diamètre de la conduite

Pour que l'eau au réservoir puisse atteindre le trop plein, on fait l'écoulement continu par seconde. Ce système de refoulement devra faire prévoir une conduite de refoulement des eaux, pour en limiter les dégâts, perte et gaspillage d'eau. Pour la conduite de refoulement, si l'altitude de perche du réservoir est très élevée, il faut un bac de collecte aussi élevé et bien armé à limiter dégâts et gaspillage.



L'altitude du Réservoir = 1874



**Figure 3.** *Altitude du réservoir*

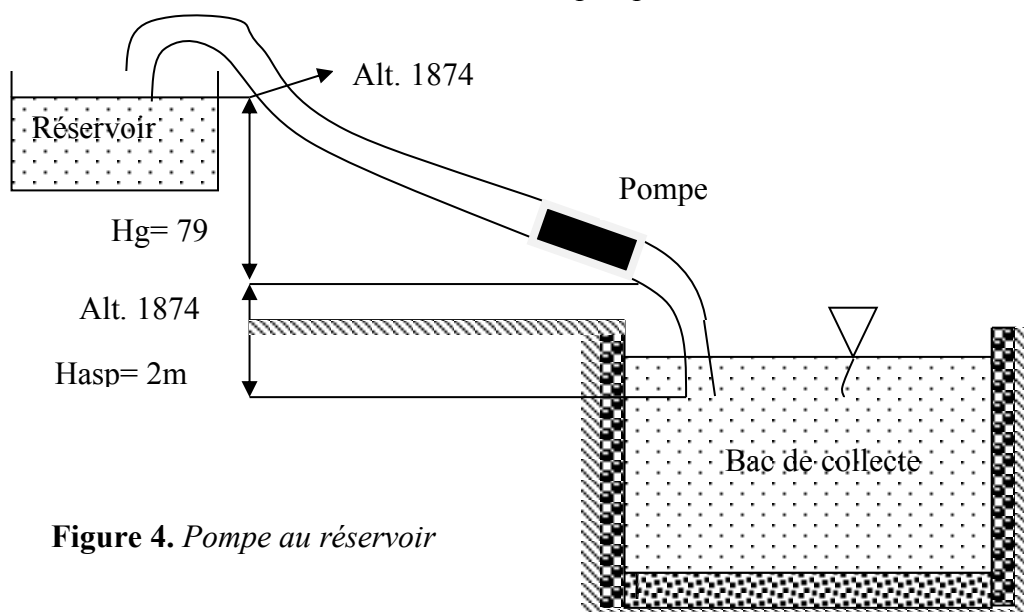
La pompe au réservoir, la tuyauterie sera de 2595m avec un diamètre déterminé en utilisant la formule de Bress :  $D = 1,51,5 \sqrt{Q_{pompe}}$  et dépend du débit de pompage divisé au volume du bac par le temps de fonctionnement de pompage à 8h. Dans cette conception, 4h sont proposées les avants- midis et 4h les après-midis, les deux faisant huit heures.

$Q_{pompage} = \frac{102,816}{8} = \frac{12,852 \text{ m}^3}{h}$ . En cherchant les  $\text{m}^3/\text{s}$  on aura  $= \frac{12,852 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = \frac{0,00357 \text{ m}^3}{\text{s}}$

$D = 1,5 \sqrt{0,00357}$ ;  $D = 0,089\text{m}$  soit  $89\text{mm} \approx 75\text{mm}$ ; le diamètre du marché soit normalisé.

Ensuite, il faut la détermination de la vitesse de l'écoulement. Or, on sait que  $Q = V \times S \Rightarrow S = \frac{\pi \times D^2}{4} \Rightarrow S = \frac{3,14 \times (0,089)^2}{4} = 0,0063 \text{ m}^2$ ;  $V = \frac{Q}{S} = \frac{0,00357}{0,0063} = 0,56 \text{ m/s}$

Par ailleurs, il faut savoir sélectionner la pompe.



**Figure 4.** *Pompe au réservoir*

### Choix de la pompe

Calculer la hauteur manométrique par la formule suivante :

$HMT = H_{gtotal} + H_f$ , ici HMT étant la Hauteur Manométrique totale,

$H_{gtotal}$  étant la Hauteur géométrique totale et  $H_f$ , la Pertes de charge totale.

Or, il est bien connu qu'une hauteur géométrique est calculée par :  $H_{gt} = H_{ga} + H_{gréf}$

Avec :  $H_{ga}$  = Hauteur géométrique d'aspiration

$H_{gréf}$  = Hauteur géométrique de refoulement

En utilisant une pompe à surface, la  $H_{ga}$  sera de 2m, la  $H_{gréf}$  de 77m et la  $H_{gt}$ , de 79m.

Deuxièmement, passer au calcul de la perte des charges.

La loi de Hazen William (2016) aide à calculer la perte des charges.

Cette loi se fait par itérations successives » une conduite :

$Q = Q_0 + \Delta$  où  $\Delta$  qui est la correction à apporter à  $Q_0$ .

Ici c'est  $H_f = \frac{10,69 \times Q^{1,852}}{C_W^{1,852} \times (D)^{4,874}} \times L_{AB}$

Avec : Q comme débit en  $m^3$ ; le Coefficient de rugosité qui est le  $C_W$  ou pour le PVC variant entre 140 et 150 ; ensuite le Diamètre intérieur de la tuyauterie (D); enfin, la longueur (L) de la tuyauterie du bac de collecte jusqu'au réservoir.

$$H_f = \frac{10,69 \times (0,00357)^{1,852}}{(159)^{1,852} \times (0,089)^{4,874}} \times 2595$$

$$H_f = \frac{0,731403947}{0,089938464} = 8,13m$$

$H_f = 8,13m$  perte de charge linéaire

La perte de charge singulière est égale à 15% d' $H_f$ .

$$H_{fsing} = \frac{15 \times 8,13}{100} = 1,219m$$

$H_f \text{ total} = 8,13 + 1,21$

$H_f \text{ total} = 9,34m$

D'où  $HMT = 79m + 9,34$

$HMT = 88,34m$

Pour calculer la hauteur manométrique total, ajouter la puissance utile, parce que la tuyauterie de la pompe ne s'arrête pas sur la paroi mais pénètre l'intérieur du réservoir.  $HMT = 88,34$ . A cela, ajouter la détermination de la pompe (la puissance hydraulique, la puissance mécanique, et la puissance d'entraînement de l'arbre), la pression de l'eau dans la conduite de bac collectant jusqu'au réservoir, qu'il faut aussi dimensionner.

Pour dimensionner le réservoir, considérons le débit de pompage multiplié par le temps de pompage.

D'où notre débit de pompage est de  $12,85m^3/h$  et notre temps de pompage est de 8h.

Alors le volume du réservoir sera de :

$$Vol = 12,85m^3/h \times 8h$$

$$Vol = 102,8m^3/j$$

Prenons  $H = 2,5m$

L'eau du bac de collecte sera refoulée deux fois le jour pour permettre de se remplir.

$$D'où  $V = \frac{102,8}{2} = 51,4 \approx 52m^3$ .$$

On sait que  $V = L \times l \times H$

$$52 = L \times l \times 2,5 \text{ or } L = 2l$$



$$\begin{aligned}
 52 &= 2L \times l \times 2,5 \\
 52 &= 2l^2 \times 2,5 \\
 52 &= 5l^2 \\
 l^2 &= \frac{52}{5} = 10,4 \\
 l &= \sqrt{10,4} \\
 l &= 3,2 \\
 l &\approx 3,5 \\
 L &= 2l \\
 L &= 7\text{m} \\
 V &= 2,5 \times 3,5 \times 7 = 61,25\text{m}^3 \text{ où Hauteur} = 2,5\text{m, Largueur} = 3,5\text{m et Longueur} = 7\text{m}
 \end{aligned}$$

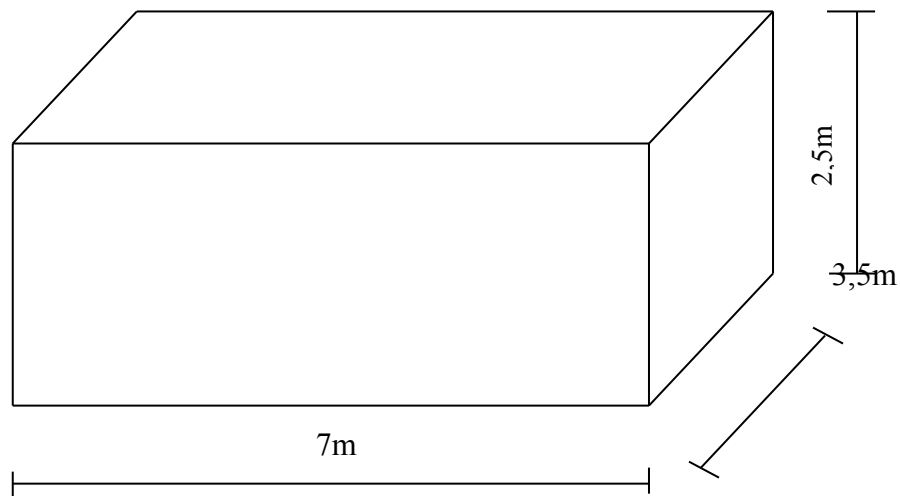


Figure 5. Dimensionner le réservoir

### Étude du réseau de distribution

La distribution permet de dimensionner les accessoires d'équipements du réseau tels que les réservoirs, la tuyauterie, et les robinets. Elle implique également le prélèvement des points d'importances, la distance entre les bornes ainsi que la vérification de la vitesse et de la pression dans une conduite et un dimensionnement des bornes fontaines (BF). À supposer qu'une BF fonctionne pendant un temps (8h/j) avec une consommation spécifique de 100 l/j desservant une population de 250 habitants.

Le débit à fournir à la BF est calculé la formule ci – haut :

$$Q_{BF} = \frac{C_s \times 250}{\text{Temps de remplissage du réservoir} \times 3600} = \frac{100 \times 250}{8\text{h} \times 3600} = \frac{25000}{28800} = 0,0086\text{m}^3/\text{s}$$

En litre nous avons  $Q_{BF} = 8,6\text{l/s}$

D'où :  $Q_{BF}$  = Débit de toutes les bornes fontaine,

$C_s$  = Consommation spécifique

Au regard de la population à l'année projetée de 11726 habitants, alors que une borne desserve 250 habitants, l'effectif des bornes fontaines se calcule au rapport des habitants et le nombre à servir à la borne fontaine :  $\frac{11726}{250} = 46,9 \approx 47$  bornes fontaines. Mais, au débit des sources faible et qu'une borne alimente une superficie de 400m<sup>2</sup>, une surface de

6857m<sup>2</sup> à Makomo, il sera considéré uniquement 17 bornes fontaines au réseau, pour une bonne alimentation.

Aussi, la loi de Talbot dit : un robinet est alimenté par un débit de 0,2l par seconde.

$$Q_{Borne} = \frac{\text{Volume du reservoir}}{\text{temps de puisage} \times \text{nombre des bornes}}$$

Donc

$$Q_{Borne} = \frac{102,8}{(3600 \times 8) \times 17} = \frac{102,8}{489600} = 0,00020m^3$$

soit  $Q_{Borne} = 0,00020$ .

En litres,  $Q_{Borne}$  fait  $0,00020 \times 1000 = 0,20l/s$ . Chaque borne fontaine aura un robinet. D'où :  $Q_{Borne}$  est le débit de chaque borne fontaine. Le débit capté étant faible par rapport au besoin, l'eau captée sera uniquement pour la boisson. En calculant les éléments du réseau et la distribution étant un réseau ramifié à conduite principale ralliée aux conduites secondaires, les conduites sont adaptées à la situation du terrain.

Au débit  $0,0016m^3/s$  aux bornes, la formule de Bress devient utile à calculer le diamètre, connu que  $\phi = 1,5\sqrt{Q_{Borne}}$ .

Ainsi au tronçon A-B, le débit est le produit de toutes bornes, fois le total des bornes.

$$Q = 0,00020 \times 17 = 0,0034$$

$$\phi = 1,5\sqrt{0,0034}$$

$$\phi = 0,0870m \text{ soit } \phi = 87mm \approx 75mm \text{ DN}$$

$$Q = V \times S \Rightarrow V = \frac{Q}{S} \text{ or } S = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi \times D^2}{4}} \Rightarrow V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 0,00020}{3,14 \times (0,087)^2} = \frac{0,0008}{0,0237} = 0,033m/s$$

La vitesse défavorable au tronçon A-B, le diamètre normalisé (DN) inférieur dans un réseau de distribution d'écoulement est en charge, les calculs continuent pour les autres tronçons, comme vu calculés au tableau 2.

**Tableau 2.** Les données calculées des différents tronçons de la présente étude du réseau

Tronçon	Longueur (m)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Vitesse	Diamètre	Pertes de charge (m.c.e.)
AB	11	0,0034	0,33	0,087	0,0041
BC	114	0,00018	0,6	0,063	0,54
CD	144	0,0010	0,57	0,047	1,12
DE	96	0,00020	0,61	0,021	1,89
DF	129	0,0008	0,58	0,0008	1,23
FG	106	0,0006	0,6	0,036	0,00023
IJ	340	0,0004	0,57	0,030	1,38
JK	250	0,00020	0,61	0,021	5
CL	226	0,0006	0,6	0,036	1,6
LP	211	0,00020	0,61	0,021	1,4
LT	272	0,00020	0,61	0,021	5,44
BU	70	0,0016	0,57	0,060	0,44
UVW	147,7	0,00020	0,61	0,021	0,29
UX	135	0,0014	0,57	0,056	8,64
XY	135	0,002	0,59	0,051	1,01
ZA'	135	0,0004	0,57	0,057	1,3

<b>YB'</b>	127	0,0008	0,58	0,042	9,2
<b>B'C'</b>	85	0,0006	0,60	0,036	8,7
<b>C'E'</b>	85	0,0004	0,57	0,030	1,7
<b>E'F'</b>	225	0,00020	0,61	0,021	33,75
<b>C'D'</b>	225	0,00020	0,61	0,021	0,33

### Procédés généraux de réalisation

La réalisation d'un projet d'adduction potable est régie par des règles soumettant tout chantier à exécuter en milieu urbain ou rural. Le réalisateur organise les méthodes assurant la maîtrise du travail. Les étapes de captage doivent être bien pris en compte à savoir les réservoirs, la pose des conduites d'adduction et réseau de distribution, enfin la construction des bornes fontaines sont obligées. Le captage assure la préservation et la qualité de l'eau, prévient et réduit le risque de pollution de la ressource. L'évaluation du débit et du besoin en eau pour le captage permet à la population locale de nettoyer, sarcler, déblayer, débroussailler le périmètre de la source assisté par les ouvriers. Ensuite, un barrage de rétention des matières en suspension est érigé. Le mur en maçonnerie est construit pour maximiser le volume et empêcher l'eau vers l'aval. Au bassin on fait le gazonner pour empêcher l'évaporation en saison sèche, enfin, l'eau coule vers l'unité de production.

La pose de conduite de refoulement et du réseau de distribution prend la matérialisation sur terrain, le tracé et le profil en canalisations ; reporte la position des ouvrages enterrés et non enterrés existants tels que le réseau d'assainissement, les câbles électriques, les canalisations de gaz, les stations-services, les chaussées revêtue, les ponts, etc. Son principal rôle est de transporter un débit souhaité, résister aux flexions longitudinales, aux efforts d'ovalisations, à l'agressivité des sols et aux surpressions et dépressions, qui peuvent provoquer la rupture de canalisation.

La pose des canalisations et accessoires se fait par tranchés, excepté les cas posés au sol, mais protégées. Le choix du type de pose est fonction de la topographie du terrain et des problèmes rencontrés comme poser à terre à mauvais terrain, à galerie, à pentes, à traversées des routes, près d'une conduite d'assainissement, traversée de pont, de rivière. La réalisation du réservoir suit les mêmes étapes telles qu'implantation, décapage de la terre et, enfin la mise en œuvre.

La pose des bornes fontaines suit les mêmes étapes à l'exécution, l'implantation, le déblayage de profondeur de 30cm et de 1,20m à section nivelé au fond, l'empierrement à 10cm de hauteur pour le passage de l'eau à la borne sans endommager l'ouvrage, le coffrage du radier et le trou de regard, le ferrailage et coffrage des poutrelles à tuyau de puisage. La pose de tuyau et coulage des poutrelles de soutenance, le coulage du radier et aménager la plate-forme du surplus d'eau au puits perdant, le crépissage servent pour l'aménagement du puits perdant.

### Évaluation financière du projet

Le coût des travaux du réseau de cette adduction d'eau est fonction de la longueur de tranchés ouverte, du captage à la dernière borne fontaine. Il est estimé entre 300 et 1300€/ml, près de 3000 à 13000€ à une distance de 10m. Ce montant inclut les travaux d'aménagement (réalisation des tranchées), la pose de canalisation et la construction du réservoir. Connaissant que 1€=1,31\$ (dollars américains), la moyenne de 300€ et 1300€ on trouve 800€ /ml. Ainsi, sur une longueur totale de 2838m pour notre réseau, le coût total du projet est de 3, 717.780\$.

**Tableau 3.** Identification de quelques composantes environnementales affectées par le projet.

ACTIVITES	COMPOSANTES DE L'ENVIRONNEMENT
	<b>Phase préparatoire</b>
Acquisition de terrain	Utilisation du sol, population
Déboisement	Sol, faune, flore et écosystème, utilisation du sol, faune, paysage, activité humaines, patrimoines culturel
Aménagement des accès	Sol, circulation et sécurité routière, population
Transport/circulation de marchandise	Construction et sécurité routière, entretien des routes
	<b>Phase de construction</b>
Transport des équipements de travail	Sol, air, eau, circulation et sécurité routière, végétation,
Excavation	Sol, eau, population
Construction des ouvrages	Sol, paysage, service public, population, emploi, économie
	<b>Phase d'exploitation</b>
Transport/circulation, entretien conduite	Sol, activités humaines, utilisation du sol
Présence des ouvrages	Paysage, utilisation du sol, activités humaines
Rejet des eaux usées	Sol, eau, santé publique, pollution
Gestion des matières dangereuses	Sol, eau, air, végétation, faune, flore et santé publique
Production d'eau potable	Eau de surface, Zone aquatique, santé publique, service public

### Évaluation d'impacts environnementaux et mesures d'atténuations

Selon Clohounto & Dedjinou (2009), l'évaluation d'impacts environnementaux est un probable impact du projet d'adduction d'eau potable sur l'environnement du projet à considérer lors de la réalisation de l'étude d'impact.

**Tableau 4. Évaluation d'impacts environnementaux et mesures d'atténuations**

<b>Milieu physique</b>	
<b>Eau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modification de caractéristiques des eaux de surface et souterraines ;</li> <li>- Disponibilité des ressources en eau ;</li> <li>- Contamination de la nappe phréatique et des eaux de surface ;</li> <li>- Modification de l'écoulement des eaux de surface et souterraines.</li> </ul>
<b>Sol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Érosion et déstabilisation du sol ;</li> <li>- Modification de la nature du sol ou des sédiments ;</li> <li>- Compaction des sols ;</li> <li>- Modification de la topographie et du drainage ;</li> <li>- Contamination des sols ou des sédiments.</li> </ul>
<b>Air</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altération de la qualité de l'air ;</li> <li>- Augmentation des niveaux de bruits ambiants.</li> </ul>
<b>Milieu biologique</b>	
<b>Faune et flore</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Destruction ou modification du couvert végétal ;</li> <li>- Destruction ou modification des habitats de la faune, particulièrement en milieu aquatique ;</li> <li>- Perte de plantes parfois rares ou menacés d'exploitation ;</li> <li>- Disparition d'espèce animale, végétale rare ou menacés d'extinction ;</li> <li>- Diminution de la productivité du milieu.</li> </ul>
<b>Milieu humain</b>	
<b>Cadre socioéconomique et infrastructures</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perturbation des us et coutumes ;</li> <li>- Déplacement de la population ;</li> <li>- Désenclavement et amélioration de l'accès aux zones isolées ;</li> <li>- Amélioration des routes ;</li> <li>- Amélioration de la santé, des conditions et de l'espérance de vie ;</li> <li>- Interruption de services publics lors des travaux ;</li> <li>- Nuisances causes par les rejets ;</li> <li>- Effets sur le développement local (emploi, construction connexe etc.);</li> <li>- Dommages causés aux routes, risqué d'accidents de la route ;</li> <li>- Retombées économiques.</li> </ul>
<b>Utiliser du sol/paysage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modification du site ;</li> <li>- Perturbation des sites archéologiques reconnus ou potentiels ;</li> <li>- Impacts visuels aux sites ;</li> <li>- Nuisances causes par l'emplacement des équipements ;</li> <li>- Entrave à l'exploitation agricole ;</li> <li>- Modification de l'espace forestier ;</li> <li>- Perturbation des activités agricoles.</li> </ul>

La mesure d'atténuation est un moyen envisagé pour prévenir, réduire l'importance des impacts des projets sur l'environnement. Des cas d'impacts probables applicables aux projets d'adduction d'eau font l'objet d'une liste d'actions, ouvrages, dispositifs, correctifs ou modes de gestion alternatifs à appliquer pour atténuer ou éliminer les impacts négatifs du projet. Les mesures des retombées positives seront mises en évidence.

A Makomo, des parcelles, des maisons parsemées des privés sont amputées, démolies complètement, y compris les constructions en amont des bornes fontaines. Les économies et les relations sociales peuvent s'effondrer, alors que l'eau est fournie en qualité et en quantité. Un tableau des mesures d'atténuation pour atteindre les objectifs protégeant l'environnement est réalisé sur Makomo ; mesures intégrées au cahier des charges de réalisation de l'adduction.

### **Plan de gestion environnemental et social**

Tenant compte des exigences du code de l'environnement, des normes ; il est nécessaire d'élaborer à chaque projet, un plan de gestion environnementale et sociale. L'objectif est de définir les impacts, les mesures d'atténuation, d'amélioration, de suivi consultatif. Le coût correspond à la mise en œuvre des mesures de renforcement pendant et après l'exécution. Il faut mieux protéger l'environnement en considérant les impacts à atténuer. Le responsable de suivi environnemental et social (RSES) est et reste l'interlocuteur privilégié et systématique du maître pour toutes questions de l'environnement liées aux travaux d'exécution du projet.

Par ailleurs, les conditions de sauvegarde seront définies dans le PGS. En fonction des besoins exprimés par la population de Makomo, ces indicateurs sont bien définis pour le suivi des résultats, contrôlés aux rapports révisés en évaluation environnementale d'achèvement de projet. À plus de la conception, exécution et la remise de l'ouvrage d'adduction/ raccordement d'eau potable à tout endroit, dit Symasol (2016), le travail est fait impeccablement sans énerve. Faisant loi, la maintenance et l'habitude protègent l'environnement en atténuant les coquilles.

### **Conclusion**

Les avantages de l'eau à l'homme, aux écosystèmes et à leurs richesses sont nombreux. Pour une cause ou une autre, trouver une population complètement privée d'eau potable, Botton (2006) dit : dans une ville à ce XX<sup>ème</sup> siècle semble un sacrilège sans précédent, une autre forme inconsciente d'élimination d'une population à petit feu. La réalité vécue à Makomo/ Misebere à Butembo, la possibilité d'un projet d'adduction d'eau potable en circonscription périurbaine en exercice d'étude expérimentale s'impose. Rien d'impossible en hydraulique qui puisse martyriser une partie de la population en desserte en eau potable, à l'instar de celle de Makomo.

L'exercice rend compte du niveau et des possibilités d'accéder pour longtemps, à l'eau pour tout usage, domestique ou non. Tout homme en dépend en vie, santé et affaires qu'il faille à tout prix l'améliorer, la prolonger. Non seulement que l'eau soit toujours fournie en qualité et en quantité ; mais qu'elle reste aussi maintenue et surveillée que possible contre tarissements et impuretés hautement nuisibles. Tout ce que fait l'homme, c'est pour la recherche continuelle de son bien-être physique, psychologique et social, avec l'utilisation rationnellement optimisée de l'eau, la vie doit être conquise et aller à mieux.



## Références

- Assiteb. (1997). Les dangers de l'eau et leur prévention, le bio technologiste, 1997
- Banga, B. K. JP. (2019). *Hydraulique Urbaine et Travaux hydraulique*, Cours, Ir.1 H.E. IBTP/Butmbo2018-2019, inédit
- Benariba, M. (2020). *Alimentation en eau potable de la ville de Chebli en République Démocratique populaire d'Algérie, SE, SL.*
- Bernard, C. (1998). *Le père fondateur de la méthode expérimentale*, PUF, Paris.
- Botton, S. (2006). L'accès à l'eau et à l'électricité dans les pays en développement Comment penser la demande ? Un débat d'*Entreprises et biens publics*, n° 09/2006, p43.
- Clohounto, J. et Dedjinou, S. (2009). Les bénéfices d'adduction d'eau potable dans la vallée de l'Ouème, in *Revue d'économie théorique et appliquée RETA, Université d'Abomey-Calavi pp1-19*
- Festy, B, T. D. (2003). Qualité de l'eau, environnement et santé publique.
- Granier, A. (2012). La démarche expérimentale-Schéma OHERIC, in *Les méthodes en sciences, Vol15, n°22/20, pp 57-65*
- Kahighanam, P.J. (2019). *Hydraulique Générale*, cours inédit, Bâtiment et travaux publics, IBTP/Butembo.
- OMS. (2014). *Qualité de l'eau et santé de l'être humain, Documentation.*
- ONU. (2011). *L'état des ressources en terres et en eau pour la FAO, gérer les systèmes en dangers*, Rome.
- ONU. (2018). *Une décennie pour l'eau, pourquoi ? Département des Affaires économiques et sociales*, New York.
- Symasol. (2016). *Gestion des eaux pluviales Guide pour la mise en œuvre de techniques alternatives*, Nouvelles éd, Genève
- Thibault, N. (2004). Désinfection des cruches d'eau et refroidisseurs : Santé et hygiène / Nettoyage et désinfection in *Bye Bye les microbes, Vol 7 No.3, éd. Hachette, Paris.*
- Velmuradova, M. (2004). *Épistémologies et méthodologies de la recherche en sciences de gestion*, P6/105.