



The 1st International Conference on Local Resource Exploitation

www.lorexp.org / info@lorexp.org

REF: LOREXP_2021_A1200 Pages: 1123–1134



Conception et réalisation, à partir de matériaux locaux, d'un banc d'étude pour la caractérisation et l'amélioration des pompes à nœuds de corde

Use of local materials in the design and construction of a study bench for the characterization and improvement of rope knot pumps

Guy-de-patience FTATSI MBETMI^{1,*} et Stella KAMMO KANA²

¹ Institut Universitaire de Technologie de Ngaoundéré, P.O. Box 455, Ngaoundéré-Cameroun

* Auteur Correspondant : guy.ftatsi@univ-ndere.cm ; fimigype@gmail.com

RÉSUMÉ :

Une partie des populations africaines s'approvisionne en eau à travers des puits sur lesquels des pompes à nœuds de corde sont de plus en plus utilisées en raison de leur technologie simple et peu coûteuse. Pour évaluer et améliorer les performances de ces pompes, un banc d'étude a été réalisé et testé. Ce dernier a aussi pour vocation d'être utilisé comme équipement pour des travaux pratiques de mécanique des fluides. Ce banc d'étude est constitué d'un bâti réalisé avec des cornières de 50, de trois planchers dont l'un a une hauteur réglable, d'un récipient en plastique de 50 L servant de source d'eau, d'un mécanisme d'entraînement d'une pompe à corde, de tuyauteries en PVC de différents diamètres, et de différentes cordes avec piston. Le test avec une pompe à corde dans la configuration la plus répandue sur le terrain, avec le banc réalisé, a donné un débit moyen de 38 L/min. Le coût de réalisation du projet a été évalué à près de 200 000 F CFA.

Mots clés : Conception et réalisation, Matériaux locaux, Banc d'études, Caractérisation et amélioration, Pompe à nœuds de corde.

ABSTRACT:

Part of the African population gets its water from wells on rope knot pumps which are increasingly used because of their simple and inexpensive technology. To evaluate and improve the performance of these pumps, a study bench was carried out and tested. The latter is also intended to be used as equipment for practical work in fluid mechanics. This study bench consists of a frame made with angles of 50, three floors, one of which has an adjustable height, a 50 L plastic container serving as a water source, a drive mechanism of a rope pump, PVC pipes of different diameters, and different ropes with piston. The test with a rope pump in the most common configuration in the field, with the bench carried out, gave an average flow rate of 38 L/min. The cost of carrying out the project has been estimated at nearly 200,000 F CFA.

Keywords: Design and production, Local materials, Study bench, Characterization and improvement, Rope pump.

1. REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1. Généralités sur les pompes

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. La plus ancienne pompe connue est la pompe à godets inventée en Chine au 1er siècle après JC. Les pompes manuelles permettent d'utiliser l'énergie motrice humaine pour extraire l'eau souterraine vers la surface. Une grande variété de pompes existe sur le marché. Celles-ci présentent différents mécanismes de pompage, gammes de profondeurs, prix, qualités, etc.

1.2. Les différents types de pompes

Il existe plusieurs types de pompes non volumétriques. Les plus répandues sont :

- La pompe à godets : composée d'une courroie sans fin (= refermée sur elle-même) sur laquelle sont fixés des godets à intervalles réguliers. Une extrémité de la courroie plonge dans le fond du puits tandis que l'autre extrémité, qui repose sur une poulie se trouve au-dessus du sol.

- La pompe à pédale : à propulsion humaine conçue pour extraire l'eau de toute source d'eau ayant une profondeur jusqu'à sept mètres.

- La pompe à nœuds de corde.

1.2. La pompe à corde

La pompe à corde, ou pompe à nœuds, est une pompe d'exhaure manuelle dont les caractéristiques conviennent tout particulièrement à l'approvisionnement en eau potable de petits groupes d'utilisateurs (utilisation familiale) pour des profondeurs allant jusqu'à 35 m. Il s'agit d'un type de pompe à eau efficace, l'un des plus simples à fabriquer et à entretenir, même localement, peu onéreux et utilisable de diverses façons, manuellement ou avec différentes sources d'énergie. Il permet de pomper l'eau de 7 m à 35 m, voire 60 m pour certains modèles (Bombas de Mecate, 1998; Smulders & Rijs, 2006).

Différents modèles de pompe à corde. Les trois modèles les plus couramment utilisés sont : - Le modèle de base (ou modèle à très faible coût, encore appelé « modèle Pi ») - Le petit modèle (ou modèle « puits », avec un petit cadre, appelé « modèle AH » auparavant) - Le grand modèle (ou modèle « forage », avec un grand cadre, auparavant appelé « modèle AB »)



Figure 1. Modèle AB



Figure 2. Pompe à nœud de corde motorisée



Figure 3. Modèle AH

Principe de fonctionnement. Une boucle fermée de corde avec y attaché à espacements égaux des pistons, est tirée à travers un tube immergé dans l'eau à son extrémité basse. Les pistons qui entrent dans le tube montant transportent l'eau en haut jusqu'à ce qu'elle atteigne la partie haute de la pompe munie d'un tube de sortie à travers laquelle elle peut sortir. La corde est entraînée en tournant la roue (poulie à gorge) placée en haut de la structure. La friction entre la roue (fabriquée avec un pneu de voiture) et la corde tire les pistons à travers le tube montant et emmène l'eau jusqu'au tube de sortie. La roue est manipulée par une manivelle à manche, qui est tournée dans le sens voulu. (Voir image). La manivelle constitue également l'axe de la roue et est placée dans la structure de la pompe placée sur la couverture du puits. Un bloc de prise proche du fond du puits avec un guidage assure que la corde avec les pistons entre proprement dans le tube montant et que les pistons n'accrochent pas au bord de son extrémité inférieure. Les pompes à corde manuelles sont généralement utilisées pour remonter de l'eau de puits ayant une profondeur entre 0 et 20 m. Cependant cette pompe peut être également installée dans des forages (0 à 40 m), pourvu qu'une attache pour guider la corde dans le forage et qu'un bloc de prise adapté soient disponibles (voir aussi 9.3) La simplicité de cette pompe à moindre coût rend possible que les usagers puissent comprendre comme elle fonctionne et sont de ce fait capable d'assurer la maintenance et la réparation (MacCarthy et al., 2017; Smulders & Rijs, 2006; Williams et al., 2011).

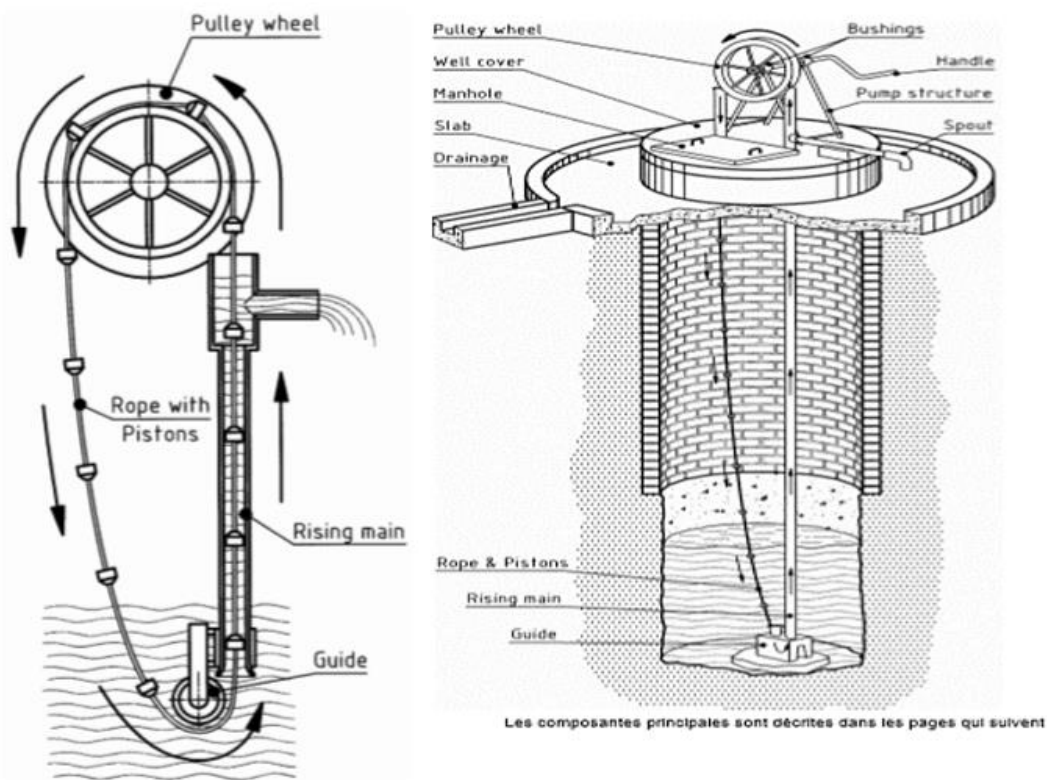


Figure 4. Principe de fonctionnement (Smulders & Rijs, 2006; Williams et al., 2011)

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

Les outils nécessaires à l'étude et à la réalisation de notre pompe sont :

- ✓ Du matériel informatique ;
- ✓ Outils d'atelier.

Matériel informatique. Il s’agit notamment d’un ordinateur possédant l’application SolidWorks 2016 pour la modélisation 3D du mécanisme. SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur appartenant à la société *DASSAULT SYSTEMES*. Il utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de fichiers qui sont liés : la pièce, l’assemblage, et la mise en plan. Ainsi, toute modification sur un de ces trois fichiers sera répercutée sur les deux autres.

Outils ateliers.

Tableau 1. Les outils ateliers

Outils	Fonctions
Outils électriques	
Poste à Souder électrique	Pour les soudures
Perceuse à main	Pour les perçages de précision
Perceuse à colonne	Pour de simples perçages
Meuleuse	Pour les coupes
Scie sauteuse	Pour les coupes
Outils à main	
2 clés de 10 (pour boulons M10)	Pour le boulonnage
Scie à métaux et lames	Pour le sciage des pièces
Massicot pour tôles allant jusqu’à 1 mm d’épaisseur	Sert à couper les feuilles métalliques
Pincés	Pour ajuster les formes
Brosse métallique	Pour nettoyer les surfaces
Marteaux (normal, lourd et marteau de soudeur)	Pour la rectification des surfaces
Pointeau	Pour l’enlèvement de matière des pistons
Lime plate	Polir les surfaces
Outils de mesure	
Mètre ruban	Mesurer les longueurs
Compas	Pour les mesures d’angles
Equerre de menuisier	Pour les angles de 90°
Règle	Tracer les formes de coupe
Consommables	
Electrode enrobé	Pour les soudures
Peinture (antirouille et brillante)	Pour protéger les matériaux de la rouille
Pinceau	Pour recouvrir les matériaux de peinture
Graisse	Pour protéger les boulons pendant les soudures
Adhésif pour peinture	Pour faciliter l’application de la peinture
Papier de verre	Pour le polissage des surfaces

2.2. Méthodes

Analyse fonctionnelle du produit : C’est une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur. Sa démarche est la suivante (Audry, 2010; de la Bretesche, 2000; Tassinari, 2006) :

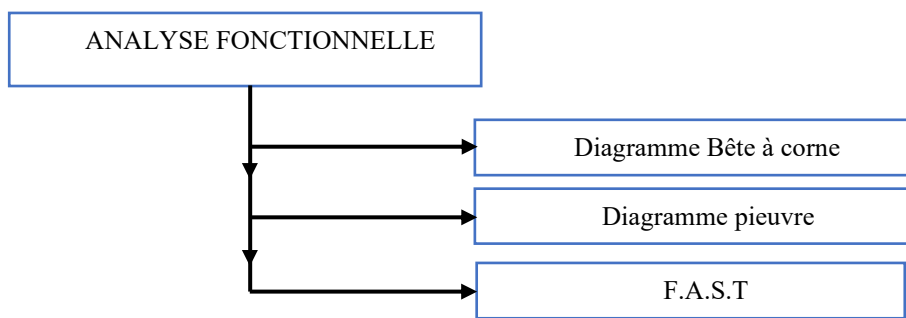


Figure. 5. Modèle d’analyse fonctionnelle et structurale

Diagramme Bête à corne : Cet outil définit le **besoin** auquel répond le **système**. Nous avons utilisé cet outil pour clairement identifier nos besoins. Pour cela, il est essentiel de se poser les trois 3 questions suivantes :

- ✦ A qui, à quoi le produit rend-il service ?
- ✦ Sur quoi, sur quoi agit-il ?
- ✦ Dans quel but ? (Pourquoi faire ?)

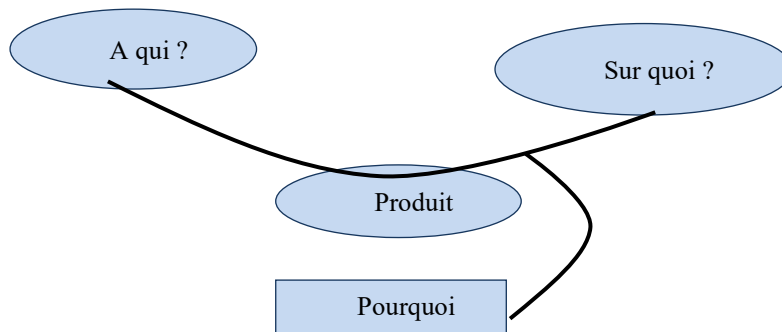


Figure. 6. Diagramme bête à corne

Diagramme pieuvre. Cet outil identifie les fonctions d'un système ou d'un produit, recherche les fonctions attendues et leurs relations dans l'analyse fonctionnelle du besoin (ou analyse fonctionnelle externe). A l'aide de cet outil, nous avons ressorti la fonction principale de notre four c'est à dire les raisons pour lesquelles l'objet a été créé, les éléments du milieu extérieur avec les contraintes auxquelles l'objet doit satisfaire.

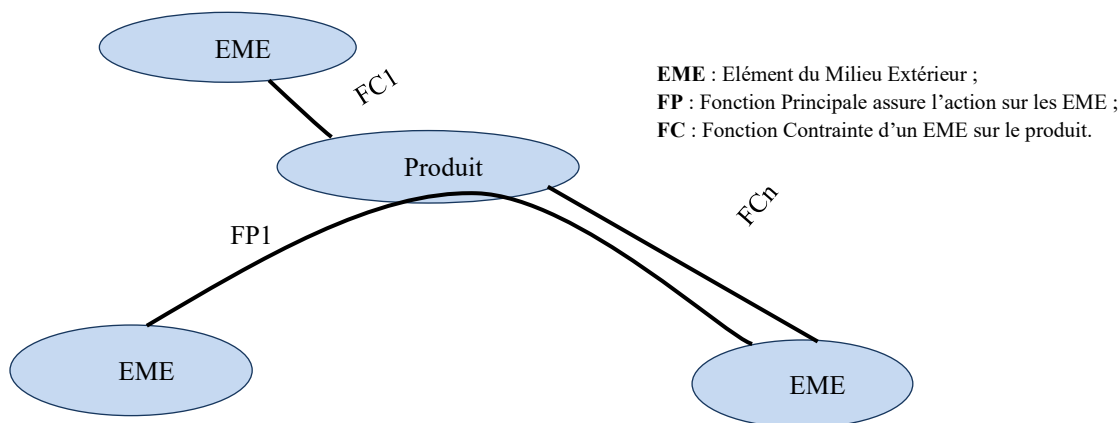


Figure. 7. Modèle diagramme pieuvre

Diagramme F.A.S.T. L'Analyse Fonctionnelle des Systèmes Techniques (Function Analysis System Technic) présente une traduction rigoureuse de chacune des fonctions de service en fonction(s) technique(s), puis matériellement en solution(s) constructive(s). Le F.A.S.T. se construit de la gauche vers la droite en répondant aux questions Comment et Quand ?

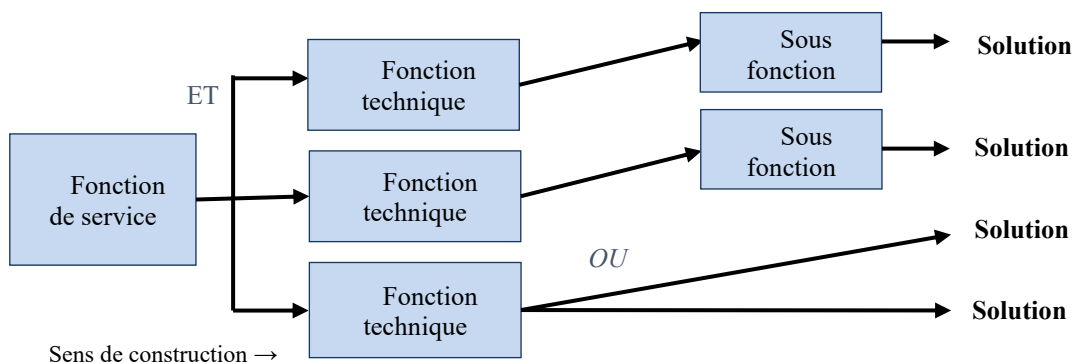


Figure. 8. Modèle diagramme F.A.S.T

Etude analytique des caractéristiques de la pompe. Une pompe est caractérisée par : -Sa hauteur d’aspiration (Elle correspond à la hauteur entre la surface de l’eau et l’axe de la pompe. Dans le cas d’une pompe immergée de puits ou de forage, $H_a = 0$), -La hauteur de refoulement (Elle correspond à la hauteur entre l’axe de la pompe et le point le plus haut de refoulement), -La perte de charge (Elle est fonction de la nature des coudes et des dimensions des tuyaux.), -La hauteur manométrique totale (La HMT est la pression totale que doit fournir une pompe). Elle s’exprime en mètre de colonne d’eau ou bars. La HMT est calculée suivant l’équation 1 maintenance et la réparation (Smulders & Rijs, 2006) :

$$H.M.T = (H_a + H_r + P_c) + P_u \tag{1}$$

H_a : hauteur d’aspiration, **H_r** : hauteur de refoulement, **P_c** : perte de charge, **P_u** : pression utile.

Le débit d’écoulement de l’eau (Le débit de la pompe est assez important, et varie de 0,50 à 5,00 m³/h selon la profondeur du puits et le diamètre de la roue).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Diagramme bête à corne du banc d’étude de pompes à nœuds de corde

Il est représenté sur la figure ci-dessous, et le tableau des fonctions déterminées est le Tableau 2 ci après.

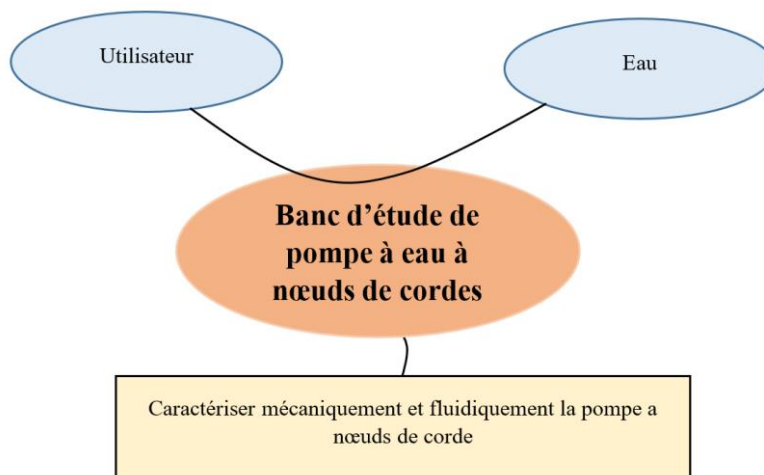


Figure 9. Diagramme bête à corne du banc d’étude de pompes à nœuds de corde

3.2. Diagramme pieuvre du banc d’étude de de pompe à nœuds de corde

Il est représenté sur la figure ci-dessous, et le tableau des fonctions déterminées est le Tableau 2 ci après.

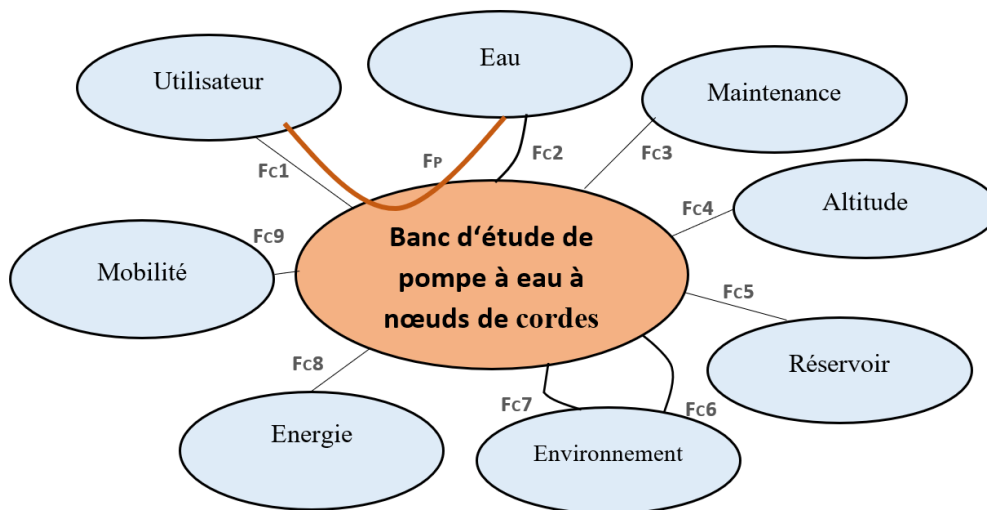


Figure 10. Diagramme pieuvre du banc d'étude de de pompe à nœuds de corde

Tableau 2. Fonctions de services du banc d'étude de de pompe à nœuds de corde

Repères	Fonctions	Critères	Niveaux
FP	Caractériser mécaniquement et Hydrauliquement la pompe à nœuds de corde	Débit de la pompe Effort imposé par la pompe	
Fc1	Préserver la sécurité de l'utilisateur	Sécurité	
Fc2	Avoir une source d'eau interne	Accessibilité de l'eau	50 litres
Fc3	Être facilement maintenable	Maintenabilité	Maintenance préventive et corrective
Fc4	Être facilement manœuvrable	Hauteur de la pompe Hauteur de l'organe de mise en marche de la pompe	2 m 1 m10
Fc5	Pouvoir mesurer le volume d'eau dans le réservoir	Volume	De 0 à 10 litres
Fc6	Pouvoir résister aux agressions chimiques extérieures	Pollution de l'eau	
Fc7	Pouvoir résister aux agressions physiques extérieures	Solidité des éléments de la pompe	
Fc8	Avoir pour source d'énergie, l'énergie humaine	Disponibilité de l'énergie à moindre coût	Omniprésente
Fc9	Être déplaçable	Mobilité	

Ce tableau met en exergue les neuf fonctions contraintes et la fonction principale de notre système dont les solutions technologiques seront recherchées dans le prochain paragraphe.

3.3. Recherche de solutions technologiques du banc d'étude

Nous avons utilisé le diagramme FAST qui permet de partir des fonctions de service d'obtenir aux solutions technologiques. Ici, présente le diagramme FAST de la fonction FP. Les autres fonctions contraintes sont juste à prendre en compte lors des choix de solutions.

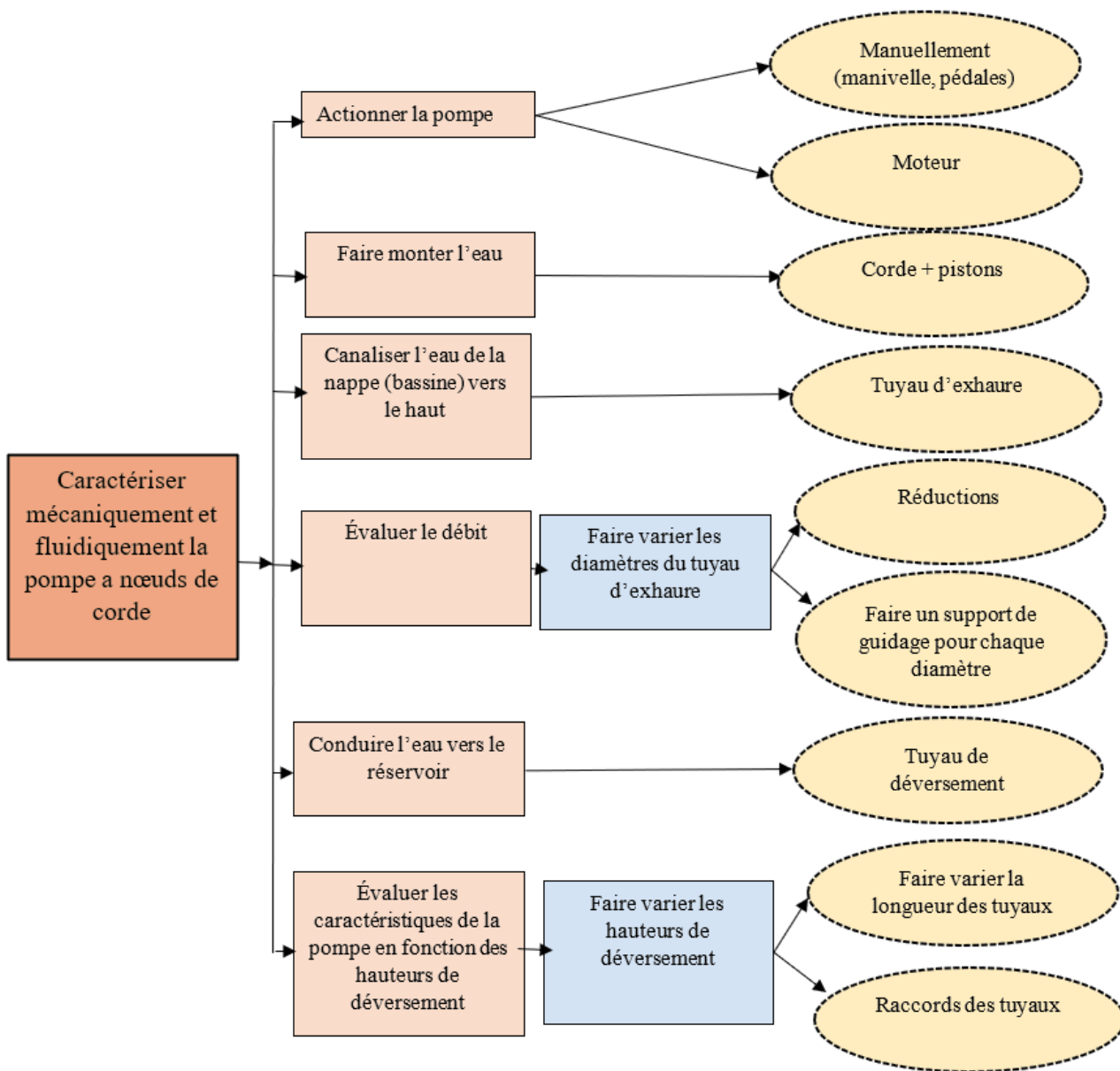


Figure 11. Diagramme FAST d'un banc d'étude de pompes à nœuds de corde

Les éléments technologiques recensés vont faire l'objet d'un dimensionnement dans le paragraphe suivant.

3.4. Dimensionnement et choix du matériel adéquat

Tuyau d'exhaure. Les dimensions du tuyau d'exhaure PVC dépendent du niveau statique du point d'eau. Le niveau statique indique la hauteur de colonne d'eau à pomper. Cette hauteur correspond à la différence entre le niveau de l'eau au repos et le niveau du tuyau de déversement en surface. Pourquoi différentes tailles ? Si le niveau d'eau dans le puits est haut, le poids de la colonne d'eau à hisser sera limité (faible distance pour hisser l'eau en surface). Dans ce cas, il est aisé pour les usagers d'actionner la roue. Si le niveau d'eau est bas, le poids de la colonne d'eau est plus élevé et de ce

fait, le pompage demande plus d'efforts. Dans ce cas, il est plus difficile pour l'utilisateur d'actionner la roue. Pour réduire le poids de la colonne d'eau à des profondeurs plus importantes, des tuyaux PVC de plus faibles diamètres sont utilisés. Lors du choix du diamètre du tube montant, on doit se souvenir qu'augmenter la hauteur de pompage augmente également le poids de la colonne d'eau, ce qui rend le pompage plus ardu. La seule possibilité de compenser cette augmentation de poids est de réduire le diamètre du tube montant. Diamètre recommandé du tube montant (diamètre nominal = DN)

La corde. Les cordes en polypropylène sont les plus recommandées car elle possède les caractéristiques suivantes :

Bonne tenue à l'humidité et aux acides, Imputrescible, Inodore, Très léger, Imperméable et flottante.

Son diamètre donne les dimensions du trou qu'on doit effectuer sur les pistons. On s'arrange toujours pour que ces dimensions correspondent à un diamètre normalisé de corde disponible sur le marché. Sa longueur est fonction du : diamètre de la roue et de la profondeur du puit. Elle peut être déterminée par l'équation 2 (Smulders & Rijs, 2006) :

$$L = (P + \pi * D/4 + h) * 2 + 0,15 \tag{2}$$

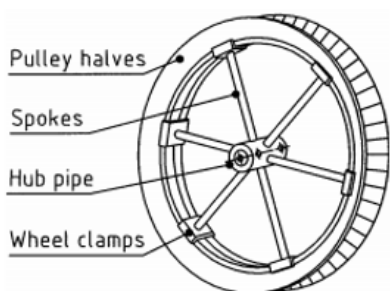
L = Longueur de la corde(m) ; **P** = profondeur du puit ; **D** = diamètre de la roue ; **h** = hauteur entre l'axe de la roue et la surface du puit.

Le piston / rondelles. Les pistons sont généralement en polypropylène car cette matière engendre de faible frottement dans le tuyau. Des pistons d'une bonne dimension ont une tolérance d'environ 0,2 à 0,5 mm avec le tuyau montant. Au milieu des pistons, on réalise un trou d'un diamètre égal à celui de la corde à l'aide d'un foret. Des pistons faits de polyéthylène à densité élevée (HDPE) sont également très efficaces et permettent de faire des pistons d'une taille standardisée.

La roue. Les deux moitiés de poulie sont découpées avec un couteau aiguisé d'un pneu usagé 14'' ou 15''. De préférence on utilise des pneus rigides de poids lourd ou de petits camions.

Les crampons de roue : Les crampons de roue sont fabriqués à partir d'un fil d'acier plat qui est plié pour serrer les moitiés de pneus étroitement en position.

Les rayons : La connexion entre les crampons de roue et le moyeu de la roue est généralement faite par des rayons, similaire aux roues des bicyclettes.



Pulley halves : moitié de poulie
 Spokes : rayons
 Hub pipe : moyeu
 Wheel clamp : pince de roue

Figure 10. Dimensionnement de la roue d'une pompe à corde

La Manivelle. En courbant le tuyau pour avoir une manivelle, il faut faire attention à ce que le rayon de courbure ne soit pas plus petit que 8 à 10cm et que le tuyau soit courbé seulement à 60°. Un outil de bordage simple pour tuyaux en acier galvanisé peut être utilisé, pour empêcher que le diamètre du tuyau soit écrasé pendant l'opération de pliage. Pour une raison ergonomique, la hauteur de levier pour la manivelle doit être de 20cm pour les pneus de 14'' et de 22 cm pour les

pneus de 15". La longueur du bras doit être 23 cm, de manière à ce que les enfants puissent utiliser les deux mains pour faire fonctionner la pompe.

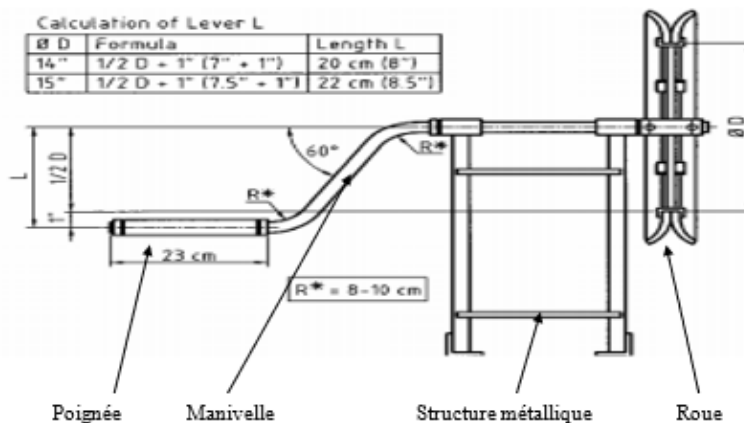


Figure 11. Dimensionnement de la manivelle d’une pompe à corde

La structure métallique. Une structure de pompe rigide est essentielle pour maintenir l’essieu de la roue dans sa position quand la pompe est manipulée, de manière à ce que la pompe ne bouge pas latéralement. Une attention particulière est à accorder au positionnement de l’axe de la roue. La hauteur doit être choisie de manière à ce que la manipulation de la manivelle soit ergonomique pour les usagers. Les enfants doivent aussi avoir la possibilité d’actionner facilement la pompe. Comme règle pratique, la hauteur de l’axe doit être de 5 à 10 cm au-dessus de la hauteur moyenne des coudes des usagers.

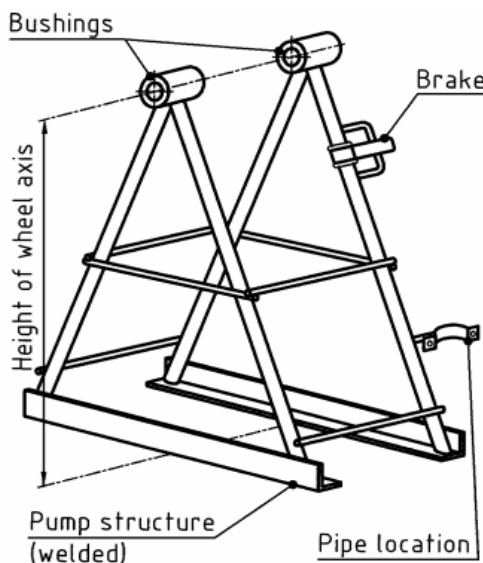


Figure 12. Présentation de la structure métallique

Roulement à bille. Des roulements à billes peuvent être utilisés s’ils sont protégés contre la poussière et le sable. La disponibilité de roulements de taille appropriée doit être vérifiée.



Figure 13. Photographie d’un roulement à bille

Débit volumique. Il est déterminé expérimentalement. Sur une pompe déjà fonctionnelle on remplit un volume connu en s’assurant de relever les caractéristiques suivantes :

- Le temps de remplissage du récipient t en min,
- Le nombre de tour de roue effectué au total,
- Les caractéristiques de la roue tels que : le rayon, le nombre de rayon fixé au moyeu. A partir de ces résultats on détermine le débit de la pompe, la vitesse de rotation de la roue et les autres caractéristiques associées.

Cas pratique : Pour déterminer notre débit, nous avons effectué nos essais sur une pompe dont la roue possédait les caractéristiques suivantes : diamètre D = 34cm. On se rend alors compte qu’un seau de 10 litres de volume est rempli en 35s après 70 tours de roue. Ce qui nous fait un débit de :

$$Q_v = 10/35 = 0.3 \text{ L/s} = 17.14 \text{ L/min} \tag{3}$$

De même la vitesse de rotation est donnée par :

$$N = n / t \tag{4}$$

avec N = vitesse de rotation ; n = nombre de tours ; t = temps

$$N = 70/35 = 2 \text{ tr /s} = 120 \text{ tr/min} \tag{5}$$

Représentation du modèle. L’application *SOLIDWORKS* nous a permis de réaliser le système en 3D dont le dessin d’ensemble en perspective est présenté sur la figure ci-après.

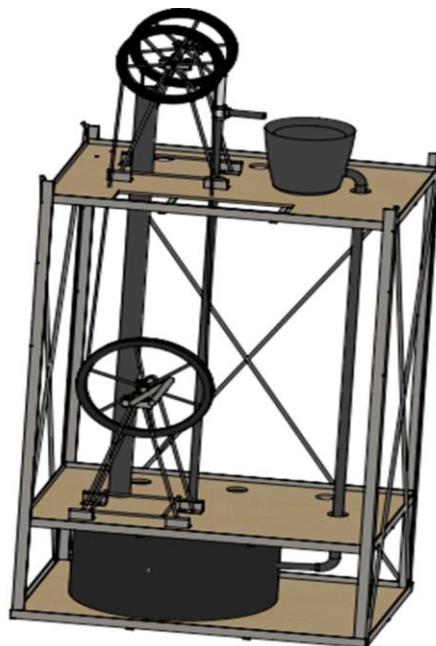


Figure 14. Représentation en perspective du banc d’étude de pompe à nœuds de corde

3.5. Coût du projet

Le coût de réalisation du banc d’étude de pompes à cordes est précisé dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3. Coût de réalisation du banc d’étude de pompes à nœuds cordes

Equipements	Quantité	Prix (F CFA)
Total matériel	1	155 000
Transport et divers	1	15 000
Main d’oeuvre	100	30 000
Total		200 000 F CFA

Il s’élève à un total de **200 000 (deux cent mille) francs CFA.**

3.6. Réalisation et test du banc d'étude de de pompe à nœuds de corde

Les images de la figure 15 ci-après présentent le banc en cours de réalisation (a et b), puis assemblé et testé (c).

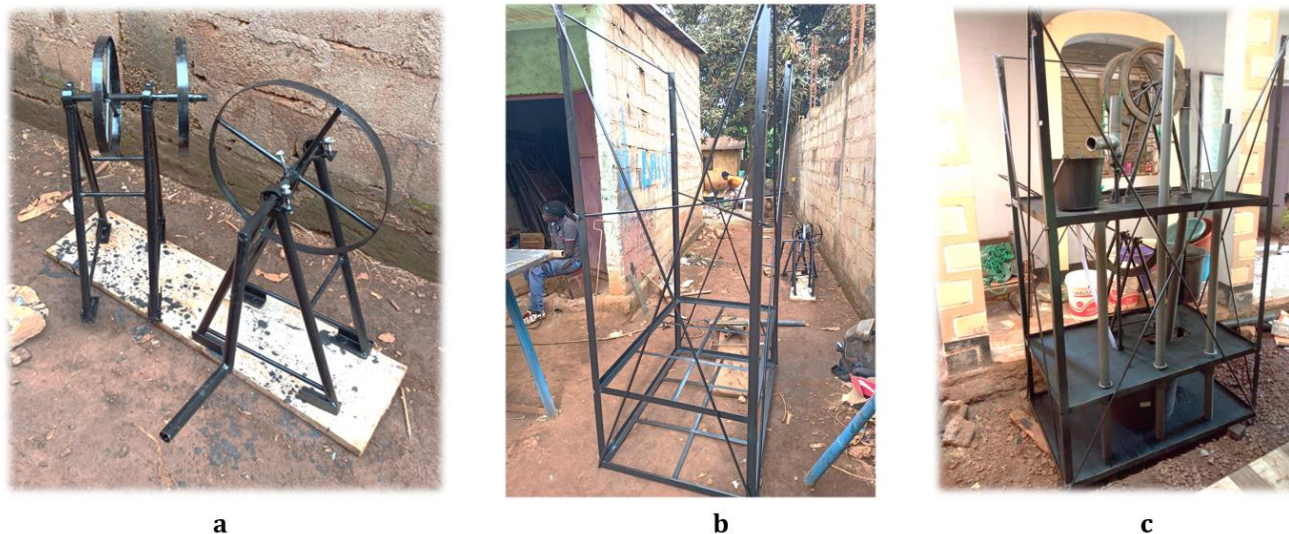


Figure 15. Réalisation et test du banc d'étude de pompe à nœuds de corde

Le test avec une pompe à corde dans la configuration la plus répandue sur le terrain, avec le banc réalisé, a donné un débit moyen de 38 L/min.

4. CONCLUSION

Dispositif traditionnel, la pompe à nœud de corde bien que dépassée fait toujours ses preuves dans l'approvisionnement en eau dans les zones où l'accès à l'eau est une difficulté permanente. La mise en œuvre de ce mécanisme est simple et peu coûteuse et il pourrait avoir plusieurs autres applications si on y pense bien. Mais avant cela, il serait intéressant de se pencher sur l'amélioration de certaines de ses caractéristiques telles que le débit et l'optimisation de la vitesse de remontée des pistons en se servant du banc d'essais conçu et réalisé.

5. CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt.

6. RÉFÉRENCES

- Bombas de Mecate S., 1998. *Experiences and Tolerances in rope pump production*. Managua, Nicaragua.
- MacCarthy M.F., Carpenter J.D. & Mihelcic J.R., 2017. Low-cost water-lifting from groundwater sources : A comparison of the EMAS Pump with the Rope Pump. *Hydrogeology Journal*, **25**(5), 1477–1490.
- Smulders P. & Rijs R., 2006. A Hydrodynamic Model of the Rope Pump. Eologica, Schoonhoven, The Netherlands, 16p/
- Williams C., Beattie A., Parker T., Read J. & Booker J.D., 2011. Rope-Pump System Modelling using Renewable Power Combinations. *World Renewable Energy Congress-Sweden; 8-13 May, 2011*, Linköping; Sweden, 057, 2861–2868.