

# Amélioration d'un système de pompage d'eau appelé « pompe à chapelet »

## **1- RANDRIAMANANTSOA Herinantenaina**

Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)

## **2- HERITAHINA Rambeloson**

Maitre de Conférences HDR

Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)

## **3- RAKOTOSON Andriatiana Tolontsoa**

Assistant d'Enseignement Supérieur

Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)

## **4- RANDRIANJA Roger**

Professeur Titulaire

Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)

## **RESUME**

La pompe à chapelet, est une pompe traditionnelle d'origine chinoise, l'optimisation de ce type de pompe permet d'avoir le débit maximum d'eau pompée. Le nombre et la forme géométrique des pistons utilisés permettent d'obtenir des résultats satisfaisants lors de l'élaboration et la construction de cette pompe. La fonction maximale, qui n'est autre que le débit au point de fonctionnement est atteint lorsque les pistons utilisés sont en forme de cône plein de diamètre proportionnel au diamètre du tuyau, et la hauteur du piston est égale à la moitié du distance qui sépare les deux pistons successifs.

**Mot clés :** Pompe à chapelet, piston, modélisation, optimisation

## **ABSTRACT**

The stream pump is a traditional pump of Chinese origin, the optimization of this type of pump allows to have the maximum flow of pumped water. The number and the geometric shape of the used pistons make it possible to obtain satisfactory results all along the elaboration and construction of this pump. The maximum function, which is the flow rate at the operating point, is reached when the used pistons are in a full cone form with a diameter as proportional as to the diameter of the pipe; and the piston height is equivalent to the half of the distance that separates the two successive pistons.

**Keys Words:** Rosary pump, piston, modeling, optimization

## **I. Introduction :**

Dans les pays en voie de développement plus précisément les communautés rurales, l'eau est une source de vie, le système d'exploitation de ce dernier est souvent se fait par une force physique générée par homme par l'intermédiaire de la main. Ce système traditionnel gaspille le temps et l'effort physique des usagers, la conception et l'amélioration d'un système de pompage d'eau est une solution alternative pour que le temps de récolte d'eau soit transférer dans d'autre activité productive.

Les énergies sous formes électriques provenant des différentes sources d'énergie comme les photovoltaïque, l'énergie libre, se transforment donc en énergie sous forme mécanique par le biais d'un moteur électrique,

Le soleil est une source d'énergie, l'exploitation de cette énergie se fait en utilisant des modules photovoltaïques. La différence de potentielleobtenue aux bornes d'un panneau solaire est une tension continue donc deux façon permet d'exploiter cette source de tension continue, soit on utilise des convertisseurs ou onduleurs pour alimenter le moteur à courant alternatif mais cette technique est compliquée car non seulement ce mode d'exploitationnécessite beaucoup de dépense pour les communautés rural en voie de progression mais aussi il a besoin d'un technicien et des entretiens pour son utilisation[3]. Soit on exploite directement la tension continue obtenue aux bornes des panneaux solaires pour alimenter le moteur électrique en courant continu[8].

Supposons qu'on a un moteur électrique piloté par une source photovoltaïque. Pour pouvoir optimiser le système, la première démarche est de coupler le moteur et la pompe à Chapelet.La pompe doit positionnerverticalement et accompagnerd'un tuyau de forme cylindrique, deux roues à savoir la roue menante et la roue menée,et est équipée par des nombreux pistons relier par une cordequi tournent entre les deux rouescaractérisent la pompe [1-9]. L'union moteur- pompe à chapelet permet d'amener l'eau depuis la source qui est la partie inférieur du systèmevers le réservoir de stockage qui est la partie supérieur. Ensuite, nous analyserons le système de pompage. Enfin nous déterminons les paramètres du système de pompage pour avoir un débit d'eau maximum.

## II. Modélisation :

La figure1 monte le schéma complet du système et il se divise en deux parties à savoir la partie hydraulique et la partie électrique qui est le moteur électrique, le système de réducteur de la vitesse de rotation.

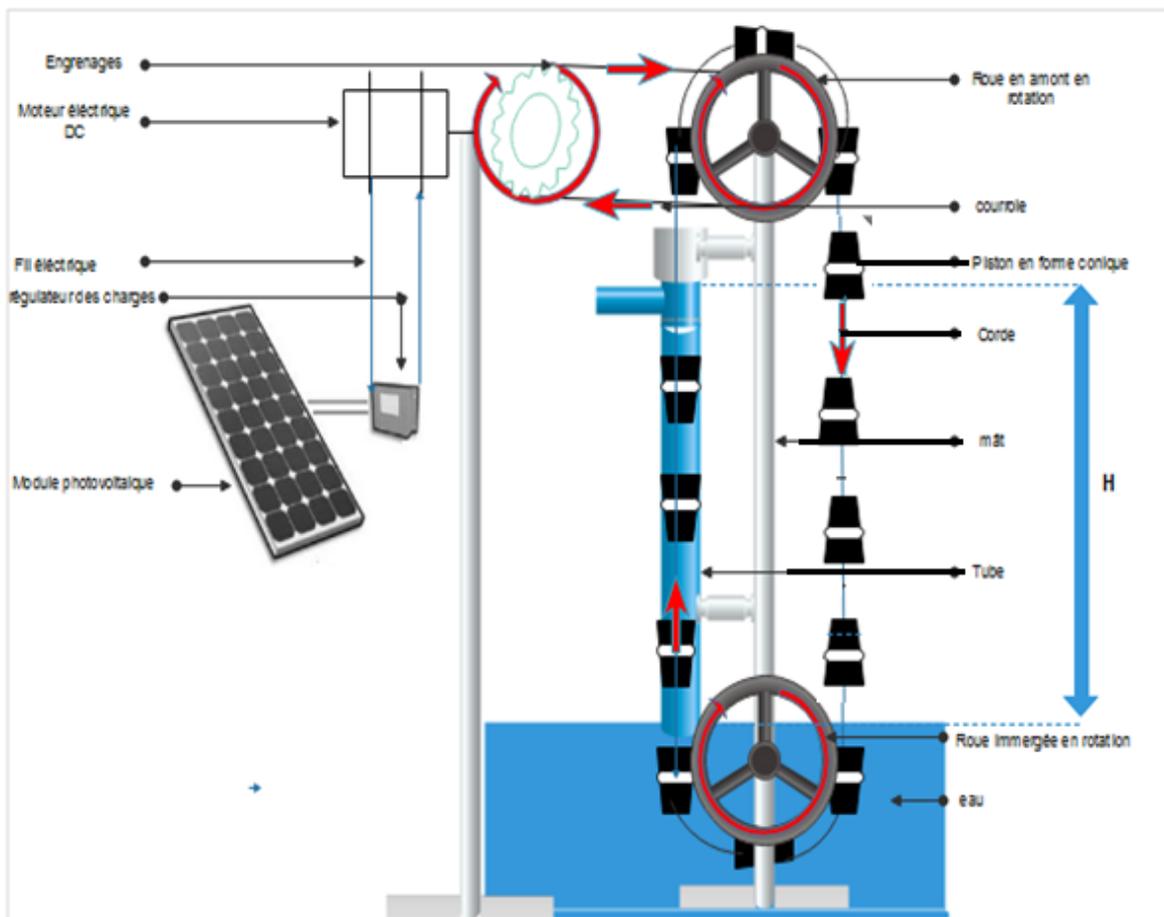


Figure1 : schéma du système

### 1. Partie hydraulique :

Pour diriger l'eau en partant de la source vers le réservoir, elle doit traverser un tuyau cylindrique vertical qui fait apparaître la hauteur statique. Cette hauteur statique est la

différence entre la hauteur du réservoir et la hauteur de la source d'eau donc elle est fixe. A partir de cette hauteur statique, on peut définir la pression statique

$$P_{fixe} = \rho g H \quad (1)$$

$\rho$  : Masse volumique de l'eau

$g$  : Accélération de la pesanteur

$H = H_c$  : Hauteur statique

Les frottements de l'eau avec le tuyau et les pistons provoquent des frictions et donne naissance à une nouvelle pression appelée pression de frottement  $P_f$ . [11]

$$P_f = k \frac{L \rho v^2}{D_c^2} \quad (2)$$

Où  $k$  : coefficient de frottement

$L$  : Longueur du tuyau

$D_c$ :Diamètre du tuyau

$v$  : vitesse de l'eau dans la conduite

Le coefficient de frottement  $k$  est obtenu à partir de la nature de l'écoulement qui dépend du nombre de Reynolds [10].  $R_e = \frac{v D_c}{\nu}$  (3)

$\nu$ : Coefficient de viscosité cinématique ( $m^2/s$ )

Donc la pression nécessaire pour transporter l'eau depuis la source vers le réservoir est

$$P = P_{fixe} + P_f = \rho g H \quad (4)$$

La figure 2 représente le débit d'eau en fonction de la hauteur statique  $H = 2m$  et  $D_c = 1.6cm$  pour une puissance électrique utile de  $P_u = 1.10w$ . Les valeurs expérimentales

obtenues à partir de 45 pistons espacés suivant la corde de longueur  $l = 4.52m$  permet de tracer cette figure.

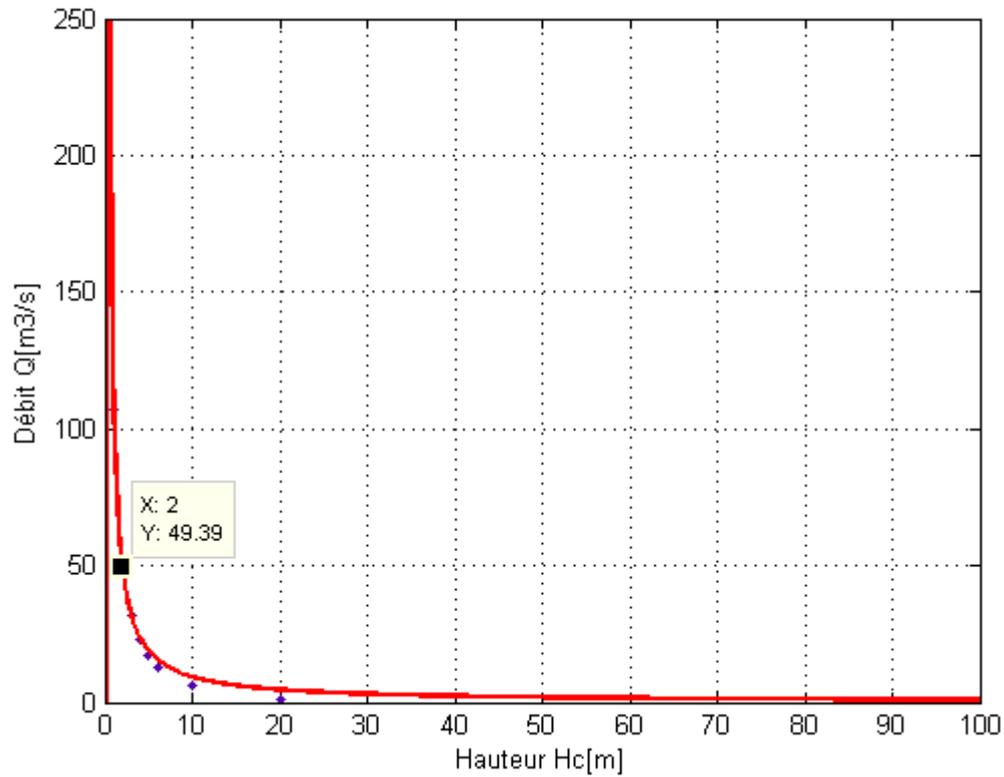


Figure 2: Débit en fonction de la hauteur pour une puissance utile  $P_u = 1.10w$

## 2. Reducteur de vitesse :

Le principe du système de réducteur de mouvement est comme suit[12] :

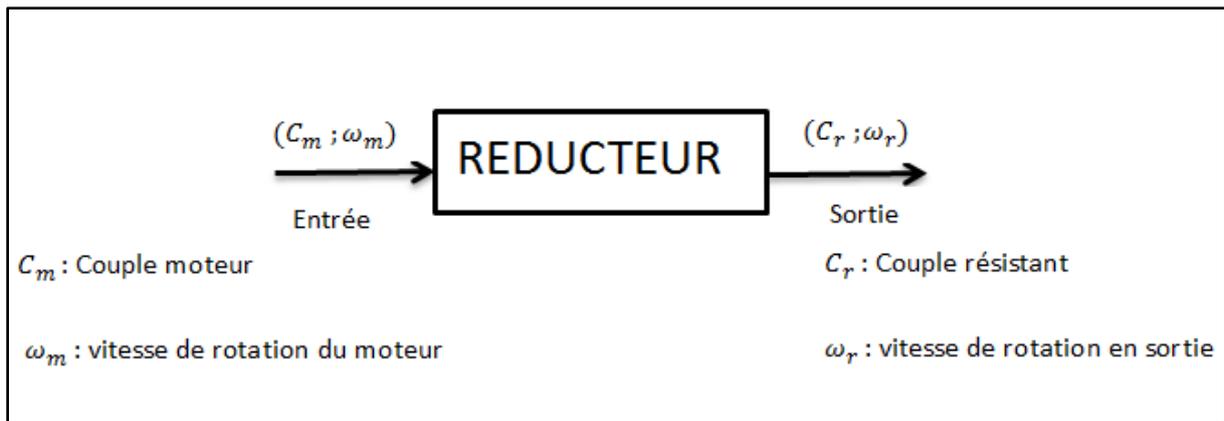


Figure 3: système de réducteur

On appelle réducteurs un système capable de modifier la vitesse de rotation à l'entrée en une vitesse de rotation de sortie.

Dans ce cas, on définit le rapport de réduction  $r$  par la relation :

$$r = \frac{\omega_r}{\omega_m} = \frac{\text{Vitesse de rotation du pignon de sortie}}{\text{Vitesse de rotation du moteur}} \quad (5)$$

$r > 1$  On a un amplificateur de la vitesse

$r < 1$  On a un réducteur de la vitesse

La puissance électrique fournie par le module photovoltaïque alimente directement le moteur électrique. Il tourne avec une vitesse de rotation réduite grâce à un système d'engrenage.

Pour un mouvement circulaire uniforme la vitesse de translation est proportionnelle à la vitesse de rotation, et la constante de proportionnalité c'est le rayon de la poulie,

$$\text{donc } v = R\omega \quad (6)$$

$v$  : vitesse de translation

$\omega$  : vitesse de rotation

$R$  : rayon de la poulie

Le moteur électrique assure le fonctionnement de la pompe et fournit une puissance ( $C_m; \omega_m$ ). En considérant les différents types de pertes, la puissance transmise à l'eau est :

$$\mathcal{P} = C_m \omega_m \eta_r \eta_p = \rho g H Q (7)$$

$\eta_r$  : le rendement du réducteur

$\eta_p$  : rendement de la pompe

$H$  : hauteur à la sortie de l'eau

$Q$  : débit d'eau à la sortie

### **III Analyse du système**

#### **1. Etude de la pompe**

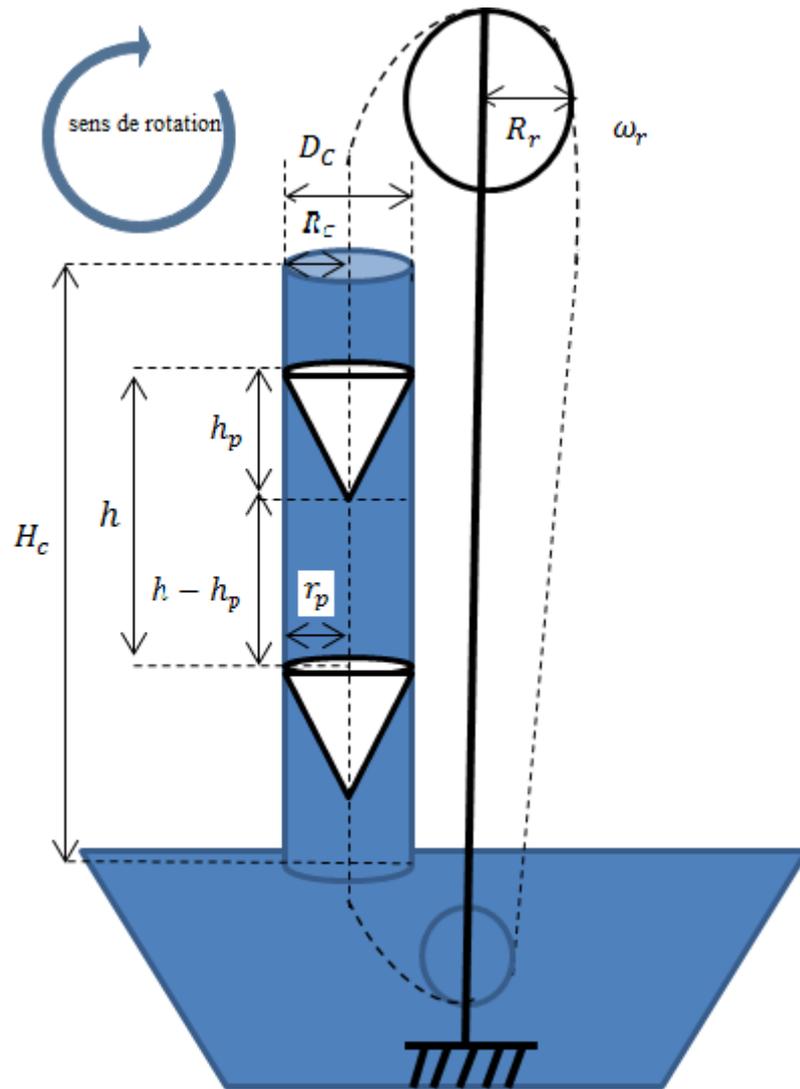


Figure 3 : schéma de principe

$D_C$  : Diamètre de la conduite

$R_C$  : Rayon de la conduite

$H_C$  : Hauteur de la conduite

$h_p$  : Hauteur du piston

$r_p$  : Rayon du piston

$h$  : Distance entre deux pistons successifs

$R_r$  : Rayon de la poulie du niveau supérieur de la pompe

$\omega_r$  : vitesse angulaire

La force exercée sur la surface du piston inférieur est donné par la relation :

$$dF_p = PdS \Leftrightarrow F_p = \rho gh\pi r_p^2(8)$$

La force exercée sur la surface du piston supérieur est donné par la relation :

$$dF_p = PdS \Leftrightarrow F_p = \rho g(h - h_p) \frac{r_p h_p}{2} (9)$$

$$dF_p = PdS \Leftrightarrow F_p = \rho g(h - h_p) 2\pi \int_0^{h_p} \frac{r_p}{h_p} z dz = \rho g(h - h_p) \pi r_p h_p (10)$$

Cette force sera maximale si  $\frac{dF_p}{dh_p} = 0$  on a  $\frac{\rho g r_p h}{2} - \rho g r_p h_p = 0$  (11)

On a alors la distance optimale entre les deux pistons successifs  $h_p = \frac{h}{2}$  (12)

En appliquant l'équation de Bernoulli pour un fluide parfait incompressible et avec échangé d'énergie, on a [10] :

$$\frac{P_u}{\rho} = (P_a - P_i) + \rho \left( \frac{V_a^2}{2} - \frac{V_i^2}{2} \right) + \rho g(z_a - z_i) (13)$$

$P_i$  Pression en avale et  $P_a$  pression en amont, puisqu'il s'agit d'une même section, la différence entre ces deux pression s'annule

En prenant comme altitude de référence, le niveau inférieur de la pompe on a  $z_i = 0$ , donc le niveau supérieur de la pompe est  $z_a = H_C$

Avec  $Q$  est le débit volumique qui a pour expression  $Q = S_C V = V \cdot \frac{\pi D_C^2}{4}$  (14)

$$V = 0.28 m \cdot s^{-1}$$

$$P_a = \frac{\rho g H_C Q}{0.846} = 0.643 H_C (15)$$

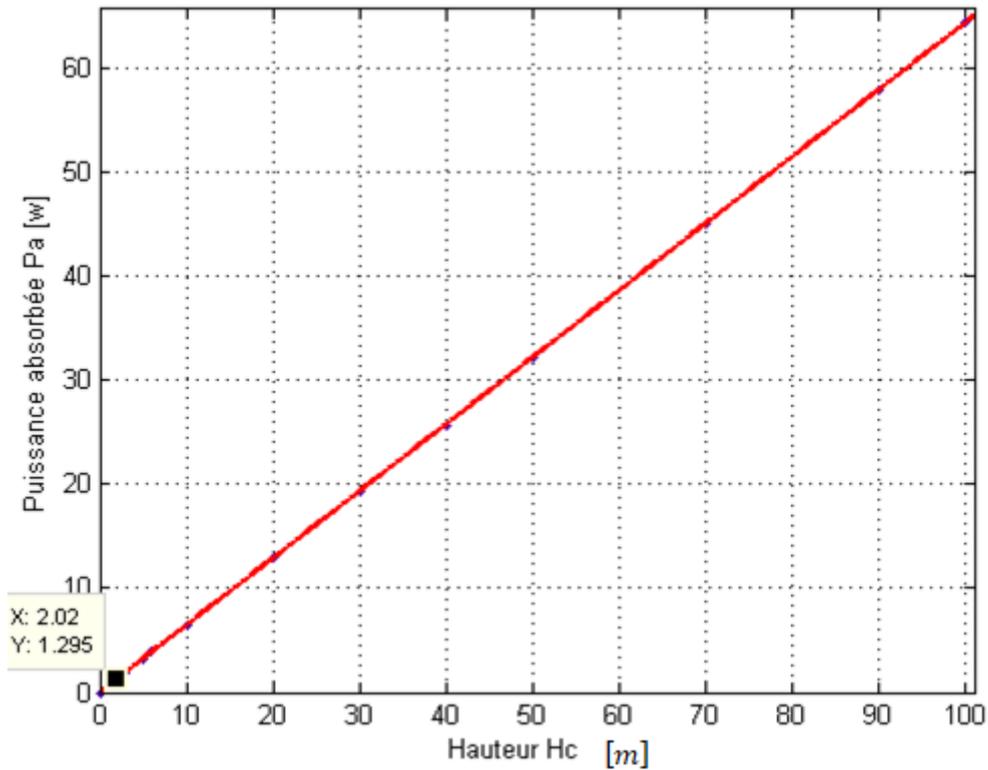


Figure 4 : La hauteur  $H_c$  en fonction de la puissance absorbée  $P_a$

D'après l'équation (11) pour que la pompe débite le maximum d'eau possible, il faut que la hauteur  $h_p$  du piston plein de forme conique soit la moitié de la distance entre deux

$$\text{pistons } h_p = \frac{h}{2}$$

De plus, la position du tuyau de la forme cylindrique à l'intérieur de laquelle les pistons se déplacent est vertical et dirigée vers le haut c'est-à-dire la hauteur  $H_c$  est fixe. Donc l'équation qui relie la hauteur de la pompe et le débit d'eau pompé est une droite.

## 2. Point de fonctionnement

L'intersection entre les deux courbes caractéristiques donne le point de fonctionnement de la pompe.

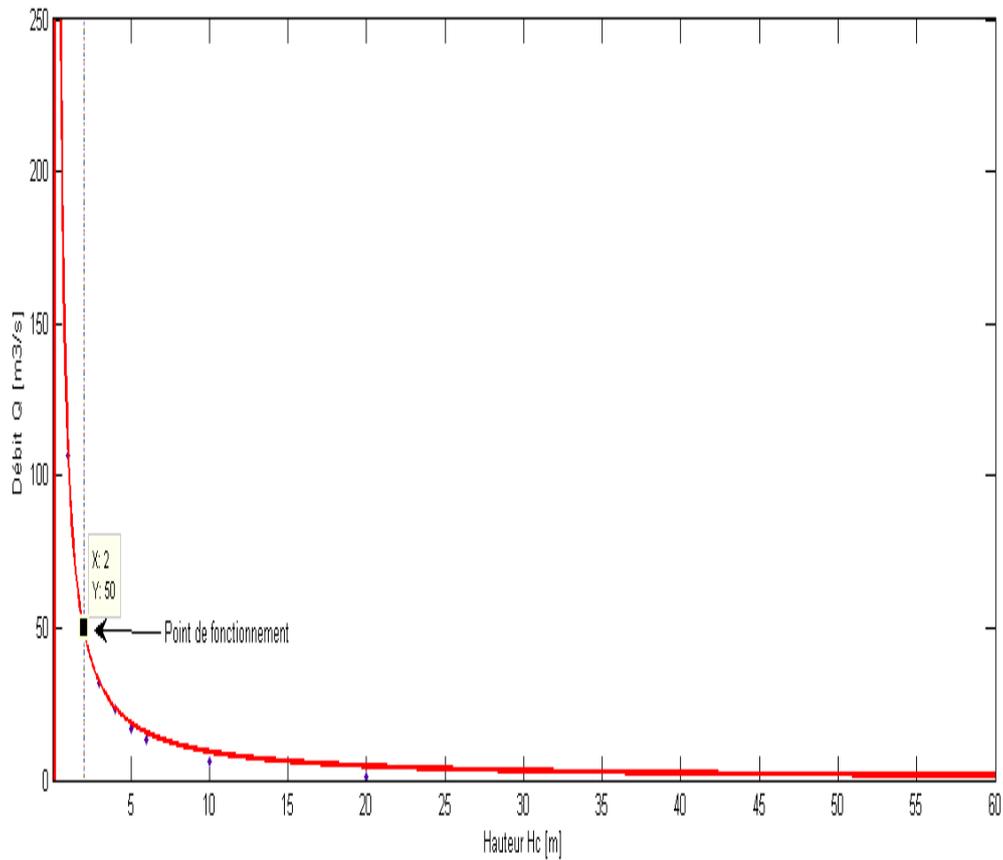


Figure 5 : Point de fonctionnement de la pompe pour hauteur  $H = 2m$  et la puissance  $P_u = 1.10w$

### 3. Amelioration

Dans cet article, l'étude permet de maximiser le débit d'eau pompé vers le réservoir pour un système de pompage appelé «pompe à chapelet ». La fonction objectif est donc le débit d'eau au point de fonctionnement et les variables qui à une influence en ce point sont:le rapport de réduction  $R_r$  , le diamètre de la piston  $D_C$  et la distance entre les deux pistons successifs  $h$ .

En optimisant le modèle précédent c'est-à-dire pour  $H = 2m$  et  $P_u = 1.10w$  on obtient la fonction objective au point de fonctionnement  $Q = 5.5510^{-5}m^3s^{-1} = 0.055ls^{-1}$

Tableau 1 : Domaine de variation des paramètres influants pour une pompe de hauteur  $H = H_c = 2m$

valeurs	Valeur minimal	Valeur initial	Valeur maximal	Valeur optimal
$R_r$	10cm	10cm	12cm	10.35cm
$D_c$	1.4cm	1.4cm	1.7cm	1.6cm
$h$	5cm	7.4cm	9.8cm	9.8cm

L'augmentation du diamètre de la conduite a une influence sur le débit mais celui-ci doit être égale au diamètre du piston pour qu'il y a le minimum de perte d'eau dans la conduite. On peut donc imaginer à partir d'une étude de sensibilité que le débit optimal est en fonction du diamètre de la piston (14).

#### **IV. Conclusion :**

Pour conclure, on peut dire que le débit d'eau débité par la pompe appelé « pompe à chapelet » est maximum, lorsque les pistons sont de la forme conique, et que la distance qui sépare les deux pistons successifs soit deux fois que la hauteur du piston. L'alimentation électrique de ce type de pompe nécessite une source d'énergie inépuisable. On propose donc, pour le travail future de l'exploitation de ce type de pompe à partir d'une source d'énergie libre qui est une solution innovante pour les usagers.

#### **Références**

[1] <https://www.fao.org/3/ah810f/AH810F06.htm> consulté le 27/02/2022 à 21:00

[2] WaterAid, "Handpumps Technical Brief," 2013. Available at:

<http://www.wateraidamerica.org/sites/default/files/attachments/Handpumps.pdf>.

[3] : Jimmy Royer, ThomasDjiako, Eric Schiller, BocarSadaSy « LE POMPAGE

PHOTOVOLTAIQUE » Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens

IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Canada,

1998

- [4] T. Pullenkav, M. Blunck, N. Ghose, and I. M. Luehr, “Solar water pumping for irrigation - Opportunities in Bihar, India,” Report from the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH and the Indo-German Energy Programme (IGEN), 2013. Available at: [http://igen-re.in/files/giz\\_\\_2013\\_\\_report\\_solar\\_water\\_pumping\\_for\\_irrigation\\_in\\_bihar.pdf](http://igen-re.in/files/giz__2013__report_solar_water_pumping_for_irrigation_in_bihar.pdf).
- [5] D. M. Mendes, L. Paglietti, and D. Jackson, “Zambia: Irrigation market brief,” Report from the FAO Investment Center, 2014. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i4157e.pdf>
- [6] A. A. Ghoneim, “Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 11–12, pp. 1449–1463, Jul. 2006.
- [7] V. C. Sontake and V. R. Kalamkar, “Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 1038–1067, Jun. 2016.
- ARRAS – 30 mai- 1er juin 2017
- [8] S. Benbelkacem, M. Belhocine, A. Bellarbi, N. Zenati-Henda, M. Tadjine, “Augmented reality for photovoltaic pumping systems maintenance tasks,” *Renewable Energy*, vol. 55, pp. 428–437, Jul. 2013.
- [9] Z. Girma, “Techno-economic analysis of photovoltaic pumping system for rural water supply in Ethiopia,” *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 36, no. 3, pp. 277–295, Mar. 2017.
- [10] B. R. Munson, D. F. Young, and T. H. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, pp. 430-445, 5th ed. Wiley, 2006
- [11] Simon Meunier « Optimisation d’un système de pompage photovoltaïque pour les communautés rurales des pays en voie de développement » Conférence des Jeunes Chercheurs en Génie Électrique, Arras, France May 2017
- [12] Florestan MATHURIN « Eléments de transmission de puissance » - cours 19 – partie 1  
Lycée Bellevue Toulouse – CPGE MPSI/PCSI