

Etude et réalisation d'une pompe à eau Fluidyne

François Lanzetta, Julien Boucher, Philippe Nika

Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Département CREST
Parc technologique, 2 avenue Jean Moulin, 90000 Belfort
francois.lanzetta@univ-fcomte.fr

Résumé

La pompe à eau de type Fluidyne est une machine de conversion d'énergie thermique basse température par apport de chaleur externe (solaire, rejets, etc.) apparentée aux machines Stirling. Même si son rendement thermique reste relativement faible, ce type de machine peut être utilisé comme moyen d'irrigation peu onéreux utilisant une technologie extrêmement simple avec un minimum de pièces en mouvement. Nous présentons une étude théorique ainsi que des résultats expérimentaux concernant une pompe Fluidyne.

1. Introduction

Il existe un grand nombre de technologies utilisant l'énergie solaire pour pomper de l'eau [1]. Ces systèmes ont été élaborés afin de palier les problèmes de disponibilité d'électricité ou d'énergies fossiles dans certaines régions défavorisées ou isolées. On peut distinguer deux grandes familles de pompes à eau solaire, l'une utilisant une conversion directe de l'énergie solaire, l'autre utilisant des cycles thermodynamiques. La première convertit l'énergie solaire en électricité pour alimenter des pompes traditionnelles. La seconde famille utilise l'énergie solaire pour alimenter la source chaude du système thermodynamique.

Parmi celles qui utilisent un cycle thermodynamique, on distingue deux groupes, les conventionnelles et les non-conventionnelles. Les pompes conventionnelles utilisent l'énergie solaire couplée à des pompes traditionnelles (souvent des pompes de circulation), ce qui implique une présence d'une autre énergie même en faible puissance. Les pompes non-conventionnelles n'utilisent que l'énergie solaire pour pomper de l'eau, le système pouvant fonctionner en autarcie complète. Les pompes non conventionnelles connaissent depuis quelques années un succès de plus en plus important par rapport aux pompes conventionnelles. Ceci grâce à leurs faibles coûts de matériel, de maintenance, de leur facilité d'assemblage et l'absence de pièces en mouvement (à l'exception de quelques valves). Parmi ces pompes non-conventionnelles on distingue la pompe Fluidyne.

2. La pompe Fluidyne

La pompe Fluidyne a été inventée par West en 1971 [2, 3]. Son fonctionnement ressemble à celui d'un moteur Stirling à pistons libres [4, 5] dans lequel le piston et le déplaceur sont liquides. Le principe de fonctionnement d'une telle machine repose sur l'oscillation de relaxation d'une colonne liquide dont l'énergie est fournie par une source de chaleur externe (solaire par exemple). Cette oscillation primaire déclenche l'oscillation d'une seconde colonne d'eau reliée à un réservoir, que l'on veut pomper, par l'intermédiaire d'une tubulure possédant deux clapets anti-retour (figure 1). Dans sa construction la plus simple, la pompe Fluidyne fonctionne sous une pression atmosphérique moyenne, à faible fréquence (entre 0.5 et 1 Hz) et sous un faible niveau de température (inférieure à 100 °C). En conséquence cette pompe présente une faible puissance mécanique ainsi qu'un faible rendement thermodynamique. Les avantages sont la gratuité de la source de chaleur (solaire), un fonctionnement silencieux et pas de pollution.

3. Réalisation d'une pompe Fluidyne

La pompe réalisée au Laboratoire est alimentée par une source de chaleur externe d'origine thermique. Le débit d'eau pompée est de 6 L.h^{-1} , sous une différence de température de $80 \text{ }^\circ\text{C}$ entre le volume chaud et le volume froid. La pompe fonctionne avec une fréquence d'oscillation de 1 Hz et une amplitude maximale des colonnes liquides de 2.5 cm . Le régénérateur est un tube en plastique reliant les deux volumes de gaz ; son volume mort permet de maintenir une différence de température entre les deux volumes chaud et froid de près de $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

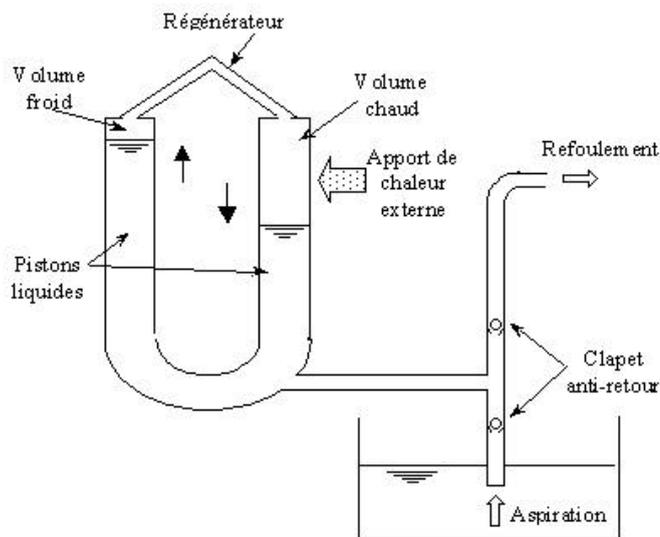


Figure 1 : Schéma de principe d'une pompe Fluidyne

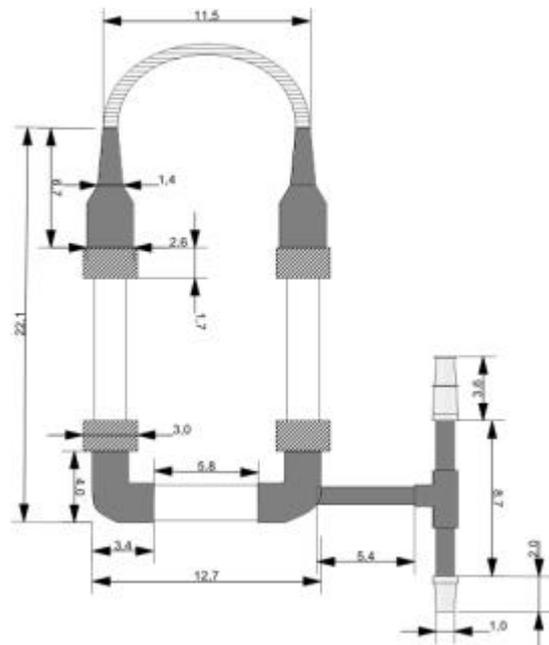


Figure 2 : Plan de la pompe Fluidyne

Références

- [1] Y. W. Wong and K. Sumathy, Solar thermal water pumping systems : a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3, (1999) 185-217
- [2] C. D. West, The Fluidyne heat engine, *Inited Kingdom Atomic energy Authority Research Group*, Report AERE R6775, (1971)
- [3] C. D. West, Liquid Piston Stirling Engines, *V. N. Reinhold, New-York*, (1983)
- [4] G. Reader and C. Hooper, Stirling engines, *E. F. Spon*, (1983)
- [5] G. Walker, O. R. Fauvel, G. T. Reader and E. R. Bingham, The Stirling alternative, *G. B. S. Publishers*, (1994)

Etude et réalisation d'une pompe à eau Fluidyne

François Lanzetta, Julien Boucher, Philippe Nika

Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Département CREST
Parc technologique, 2 avenue Jean Moulin, 90000 Belfort
francois.lanzetta@univ-fcomte.fr



1

Étude et réalisation d'une pompe à eau Fluidyne

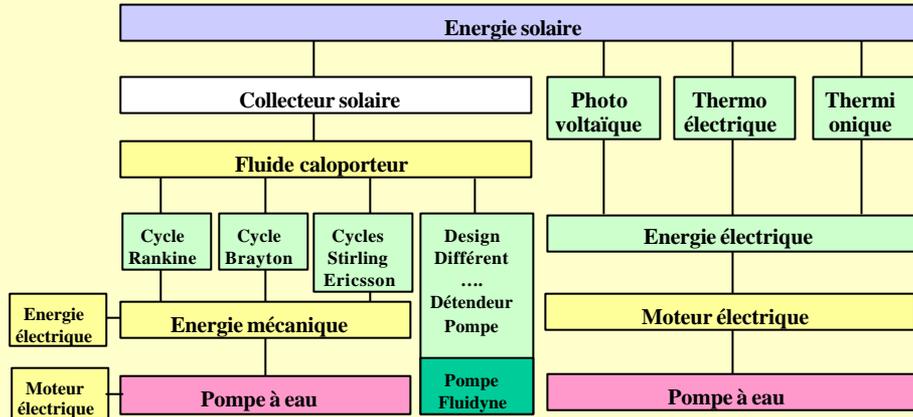
- 1 – Introduction
- 2 – Fonctionnement théorique
- 3 – Réalisation d'une pompe Fluidyne
- 4 – Conclusion



2

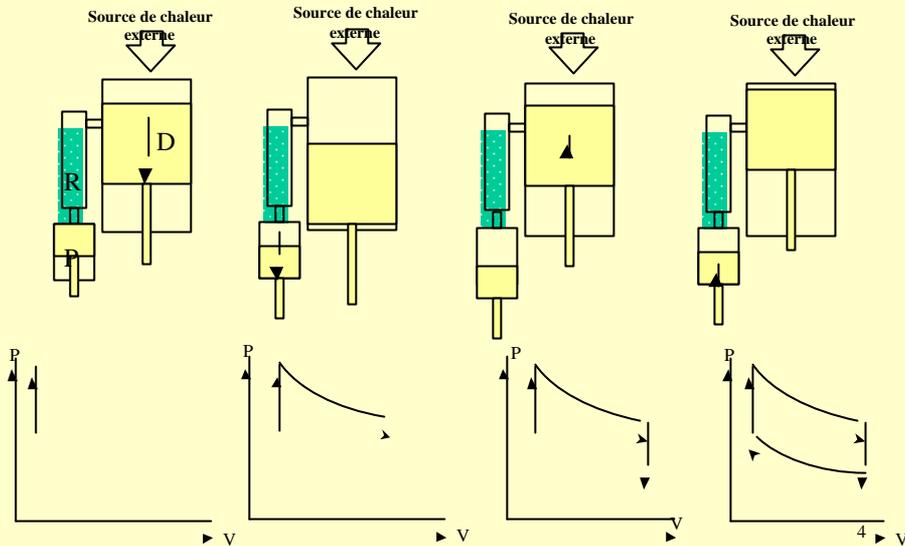
1 – Introduction

Production d'énergie « propre » ?



2 – Fonctionnement théorique

Analogie avec le moteur de Stirling



Moteur de Stirling

- 1 source de chaleur externe : solaire, thermique, chimique, etc.
- 1 gaz de travail sous pression : air, azote, hélium
- 1 puits de chaleur : ambiance, eau de refroidissement, etc.
- 2 volumes de travail : chaud + froid
- 1 régénérateur
- 2 échangeurs : chaud + froid

2 pistons : pièces mécaniques
déplaceur + piston moteur
déphasage 90°

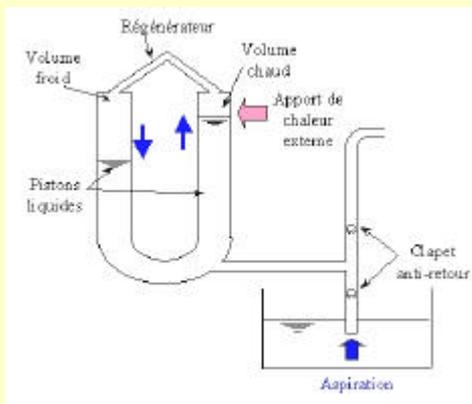
Pompe Fluidyne

2 pistons : pièces liquides
déplaceur \cup piston moteur

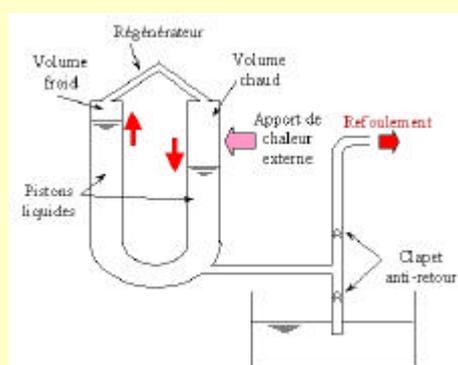
5

Pompe Fluidyne

Phase d'aspiration

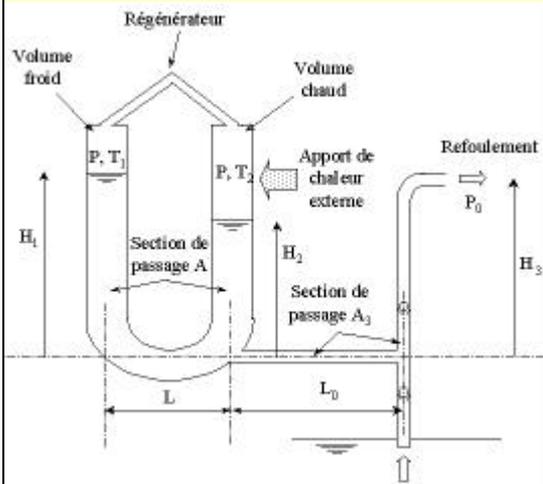


Phase de refoulement



6

Mise en équation



Hypothèses

- Déplaceur de section constante A
- Refoulement : section constante A_3
pression extérieure P_0
- Ecoulement fluide visqueux
- Volume chaud : température T_2
pression P
- Volume froid : température T_1
pression P
- Fluide de travail : air = gaz parfait
Pression moyenne \bar{P}
- Régénérateur : volume V , pression P
- Débit volumique pompé : Q

Hypothèses de calcul

- Oscillations : $H_1 = H + h_1$
 $H_2 = H + h_2$
 $H_3 = H_0 + h_3$
- Etat initial : $H_1 = H_2 = H$
 $H_3 = H_0$
- Statique des fluides : $H_2 - H_3 = \frac{(P_0 - \bar{P})}{\rho g}$

- Bilan des forces effectué au point j de pression P_j : $\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{g}$



$$\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{g} \Rightarrow \begin{cases} - \text{colonne 1} \rightarrow \text{volume froid} \\ - \text{colonne 2} \rightarrow \text{volume chaud} \\ - \text{colonne 3} \rightarrow \text{aspiration/refoulement} \end{cases}$$

Système de 3 équations différentielles couplées

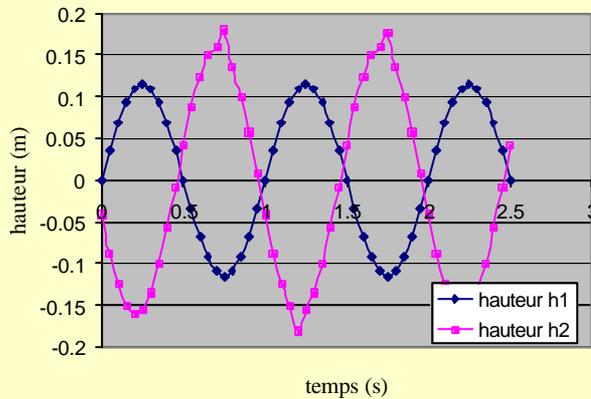
$$\begin{cases} r A (H_1 + L) \ddot{H}_1 = (P_j - P) A - r g A H_1 - 8 p h (H_1 + L) \dot{H}_1 \\ r A H_2 \ddot{H}_2 = (P_j - P) A - r g A H_2 - 8 p h H_2 \dot{H}_2 \\ r A_3 (H_3 + L_0) \ddot{H}_3 = (P_j - P) A_3 - r g A_3 H_3 - 8 p h (H_3 + L_0) \dot{H}_3 + b \dot{H}_3 \end{cases}$$

Avec

$$b = \frac{2 r g h A_3^2}{p^2 Q} \quad P \approx \bar{P} \left[1 + \frac{2 A}{V} \frac{(h_1 T_2 + h_2 T_1)}{T_1 + T_2} \right]$$

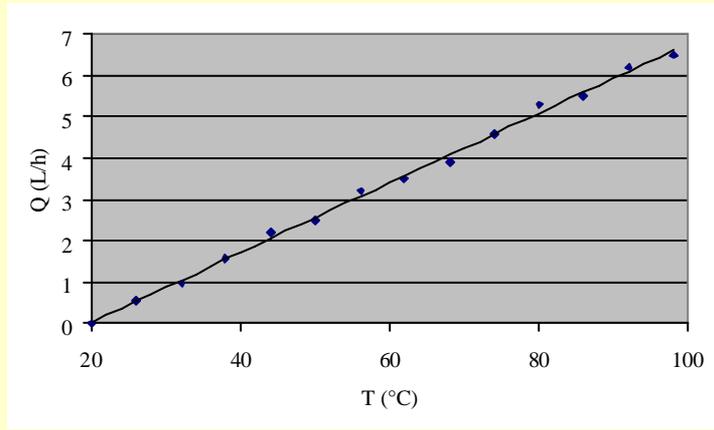
9

Variation des hauteurs relatives h_1 et h_2



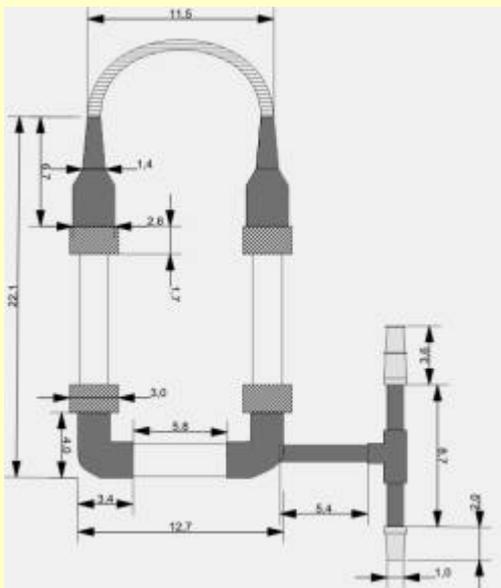
10

Débit moyen refoulé en fonction de la température de source chaude



11

3 – Réalisation d'une pompe Fluidyne



Débit moyen : 6 L/h

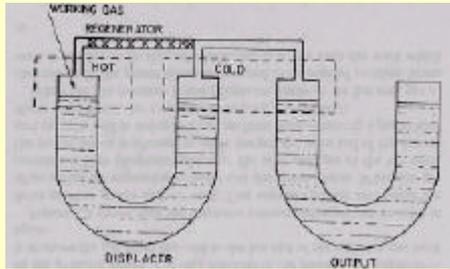
Fréquence : 1 Hz

Source chaude : 90 °C maxi

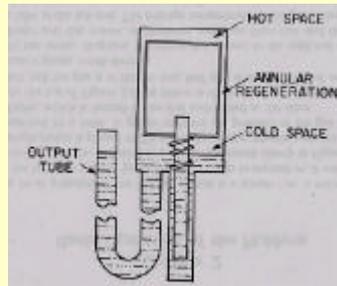
Vidéo

12

Autres réalisations

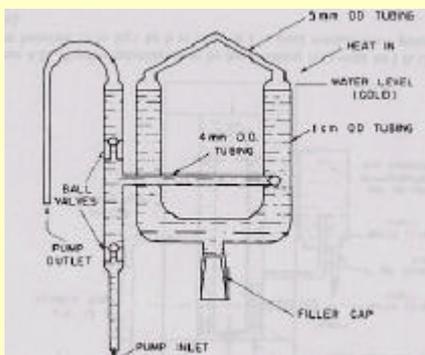


West (1970)

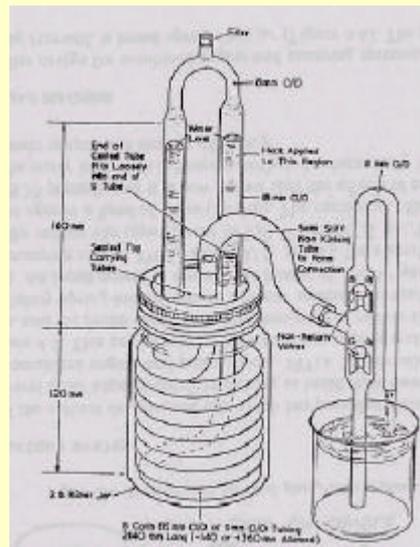


West,
Cook Yarborough
Geisow
(1970)

13



Herbert (1975)



AERE Harwell

14

Référence	Performances		
	Débit (L/h)	Hauteur (mCE)	Rendement (%)
West (1970)	11	1.1	
West (1971)	380	1.8	0.35
Goldberg et al. (1977)	36	0.7	0.12
Goldberg et al. (1977)	44	1	0.08
Mosby (1978)	22	0.4	0.15
Reader (1979)	0.03
Bell (1979)	114	1.2	0.18
Reader et al. (1981)	8	1.1	0.52
West et Pandey (1981)	1740	3.3	4.70
Pandey (1981)	9500	3.3	7.00

4 – Conclusion

Pompe Fluidyne

- conception mécanique aisée
- pas de pièces mécaniques en mouvement (hormis les 2 clapets)
- faibles coût de revient et de maintenance
- machine écologique (si soleil ou rejets)
- faibles rendement et faible puissance
- nécessité de réamorcer la pompe (condensation de vapeur, frottements, emballement)