



Comparative study of the hydraulic and energy performances of a water pumping installation of an electric motor and thermal motor

Y. M'Sadak^{*1}, A. Manai¹, K. Ben Ali¹, M.E. Hamza²

^[1] Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, BP 47, CP 4042, Tunisie

^[2] Université de Carthage, Institut National Agronomique - 43, Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis- Mahrajène, Tunisie

* Corresponding Author: msadak.youssef@yahoo.fr

The objective of this work is to compare the hydraulic and energy performances of the thermal solution with respect to the electrical solution during the pumping of water by the National Society of Water Exploitation and Distribution (SONEDE) in Tunisia.

The study involved testing a horizontal centrifugal pump under the same hydraulic conditions, with an electric motor driven at 1500 rpm and a 1300, 1500 and 1700 rpm thermal engine. The comparison of the power levels and the efficiency of the electric and thermal motors revealed the superiority of the electric motor. Indeed, at the speed of 1500 rpm, for both electrical and thermal tests, a yield of 38% and a power of 9.70 kW for the heat engine were noted. On the other hand, average efficiency and power values are respectively 84% and 5.85 kW for the electric motor.

Finally, the electric motor is more interesting than the heat engine from the viewpoint of energy, efficiency, power supplied, space requirement and sound level.

Received: 31 July 2017

Accepted: 28 November 2017

Available online: 10 December 2017

Keywords:

Pumping unit
Centrifugal pump
Electric motor
Thermal motor
Characteristic curves

Introduction

La question de l'eau en Méditerranée devient de plus en plus importante, étant donné l'accroissement des besoins [1]. Il faut pouvoir extraire cette ressource, quel que soit l'endroit de la planète. Ces besoins ont, depuis toujours, incité l'homme à réaliser des machines permettant son extraction de la source naturelle et son transfert jusqu'au point éventuel d'utilisation ou de rejet [2]. L'organe essentiel pour l'extraction de l'eau est la pompe [3]. Dans bien des points du monde, le pompage restera la seule solution pour la mise en valeur de terres agricoles [4].

Les pompes d'irrigation utilisent l'énergie mécanique, produite par des moteurs électriques ou diesel, pour

augmenter l'énergie potentielle et cinétique de l'eau [5]. Elles servent à élever l'eau d'un niveau à un autre, vaincre les pertes par friction durant le transport. Ces appareils fournissent, également, la pression requise pour l'opération des gicleurs et goutteurs, et servent à injecter des produits chimiques dans les systèmes d'irrigation [6]. Très souvent, dans certains pays, on ne dispose pas facilement de l'électricité. On devrait envisager un entraînement des pompes par moteurs thermiques dont leur poids et leur encombrement sont importants pour supporter certaines variations des vitesses. Avec le développement de l'électrification rurale, les exploitations agricoles recourent de plus en plus au pompage électrique qui offre, par rapport au pompage thermique, une meilleure souplesse de fonctionnement et une économie aussi bien en investissement qu'en

exploitation [7]. Signalons que si le groupe de pompage est animé par moteur thermique (à essence ou diesel), il est dénommé groupe motopompe. En cas de commande par moteur électrique, il est dénommé groupe électropompe.

Une augmentation de la consommation énergétique mondiale de l'ordre de 55% entre 2005 et 2030 est estimée selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) [8]. Cette prévision illustre la nécessité aujourd'hui de trouver des moyens permettant des réductions significatives de la consommation d'énergie. En Tunisie, la consommation nationale d'énergie primaire pour 2015 a été estimée à 9,4 Mtep, en augmentation annuelle de +3% en moyenne sur les vingt années écoulées [9]. Actuellement, la demande d'énergie primaire a augmenté de 8% entre janvier 2016 et janvier 2017, suite à la hausse de demande des produits pétroliers et du gaz naturel respectivement de 8% et de 7% [10].

Le secteur agricole apparaît consommateur d'énergie avec 6% des quantités consommées par les autres secteurs. De ce fait, l'Etat Tunisien a mis en place une série de mesures qui concerne tous les secteurs (industrie, transport, habitations, ...) et qui consiste à rationaliser la consommation d'énergie et l'économiser le plus que possible.

L'objectif de cette investigation est de comparer les performances hydrauliques et énergétiques de la motorisation thermique par rapport à la motorisation électrique lors du pompage de l'eau potable par la SOciété Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux (SONEDE) en Tunisie.

Matériels et méthodes

Généralités

Les principales composantes d'un groupe de pompage sont : le moteur, le palier, le corps (enveloppe) et la roue (Figure 1). Les performances de la pompe sont obtenues à l'aide de la rotation de la roue dans le corps, qui fait passer le liquide de l'orifice d'aspiration (entrée) à l'orifice de sortie, passant d'une pression d'aspiration faible à une pression de refoulement plus élevée [11].

Lieu d'expérimentation

Les essais ont été réalisés au sein de l'Atelier et sur le Banc d'essais « Pompes » de la Direction d'Entretien du Nord de la SONEDE à Megrine (Gouvernorat de Ben Arous, Tunisie).

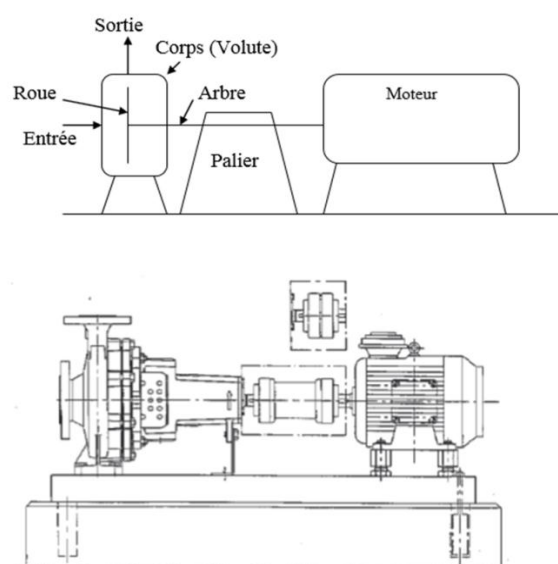


Figure 1 : Composants mécaniques d'une installation de pompage [11]

Après les étapes de sablage, démontage, entretien et remontage, la pompe à tester est montée sur le Banc d'essais pour mesurer ses caractéristiques (débit, pression, puissance).

Le Banc d'essais est constitué d'une petite station de pompage, comportant un puits de 7 m de profondeur et de 1,5 m de diamètre, un bassin de refoulement de 3 m³ de volume, un châssis sur lequel on place la pompe et son moteur et une instrumentation permettant la mesure des performances du groupe de pompage. L'eau circule ainsi dans un circuit fermé entre la partie aspiration (le puits) et la partie refoulement.

La même pompe a été testée dans les mêmes conditions hydrauliques avec un entraînement par moteur électrique tournant à 1500 tr/min et moteur thermique (énergie fossile) tournant à 1300, 1500 et 1700 tr/min.

Présentation des caractéristiques de la pompe testée

Le test mis en œuvre a porté sur une pompe centrifuge et deux types de moteurs dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 1 ci-après.

Mesures de débit et de pression

Un débitmètre électromagnétique et un transmetteur de pression sont reliés à un analyseur électronique sur lequel, on lit directement la pression et le débit à la sortie de la pompe respectivement en bars et en litres par seconde. Cet analyseur électronique permet aussi de mesurer la puissance totale fournie par le moteur et l'intensité du courant.

Pour les mesures sur le moteur thermique, le matériel suivant a été utilisé :

Tab 1 : Caractérisation technique des équipements de pompage étudiés [12]

Type Pompe	Centrifuge horizontale	
Marque	SEHI	
Type	HEGA 65/4 (4 turbines)	
Constructeur & Origine	SIHI Pumps & USA	
Fournisseur	Société Commerciale de Matériel Industriel (SOCOMI) Hammam Lif, Tunisie	
Position de la pompe	Pompe hors d'eau	
Débit (l/s)	10	
Hauteur manométrique totale (m)	50	
Type d'installation	Groupe électropompe de surface	Groupe motopompe de surface
Type de moteur	Électrique	Thermique
Position du moteur	Moteur hors d'eau	
Marque du moteur	ASEA L 160L4	HATZ Z 108
Puissance (kW)	11	15
Régime (tr/min)	1500	1500
Tension (V)	380	-
Intensité (A)	88	-
Cylindrée (l)	-	2,014
Nombre de cylindres	-	2
Capacité d'huile (l)	-	6

- Éprouvettes (500 ml) pour la mesure de la consommation en gazole ;
- Chronomètre pour la mesure du temps ;
- Compte-tours pour la mesure de la vitesse de rotation du moteur.

Mesure de la consommation de carburant

- On met le moteur en marche. Ensuite, on fixe le régime du moteur à une vitesse donnée.
- On remplit le réservoir du moteur, ensuite, on laisse le moteur en marche durant une période de temps déterminée (une demi-heure).
- Enfin, on arrête le moteur et on mesure la quantité consommée en faisant l'appoint de carburant dans le réservoir à son niveau initial.

Mesure du régime du moteur

Pour la mesure de la vitesse du moteur, on utilise le tachymètre. On a deux possibilités pour faire le test du régime (connaître la vitesse de rotation) du moteur :

- **Mesure sans contact**, réalisée à l'aide d'un capteur optique intégré à l'appareil qui se trouve dans la partie avant du tachymètre. De la lumière infrarouge modulée en fréquence est émise. Avant de saisir la mesure, on colle sur l'élément tournant une bande d'adhésion réfléchissante.

- **Mesure avec contact**, effectuée par l'intermédiaire d'un accessoire que l'on place devant le capteur optique, dénommé adaptateur mécanique.

Mesure des caractéristiques de la pompe testée

À partir des essais sur le moteur électrique, on dispose des valeurs du débit et de la pression prises à la sortie de la pompe, pour les différentes positions de la vanne de refoulement. De même, on lit, directement sur l'afficheur de l'analyseur électronique, la puissance totale fournie par le moteur à la pompe.

Pour les essais sur le moteur thermique, on a le débit et la pression, mais aussi la consommation de carburant.

Les résultats de mesures ont été utilisés pour les calculs des puissances (hydraulique et celle absorbée par la pompe) et des rendements (rendement du groupe et de la pompe), pour arriver en dernier lieu à représenter les courbes caractéristiques : $H_{mt} = f(Q)$, $P = f(Q)$ et $\eta = f(Q)$, afin de vérifier les performances de la pompe après des années d'usage.

Les différentes étapes de calcul sont présentées dans le tableau 2.

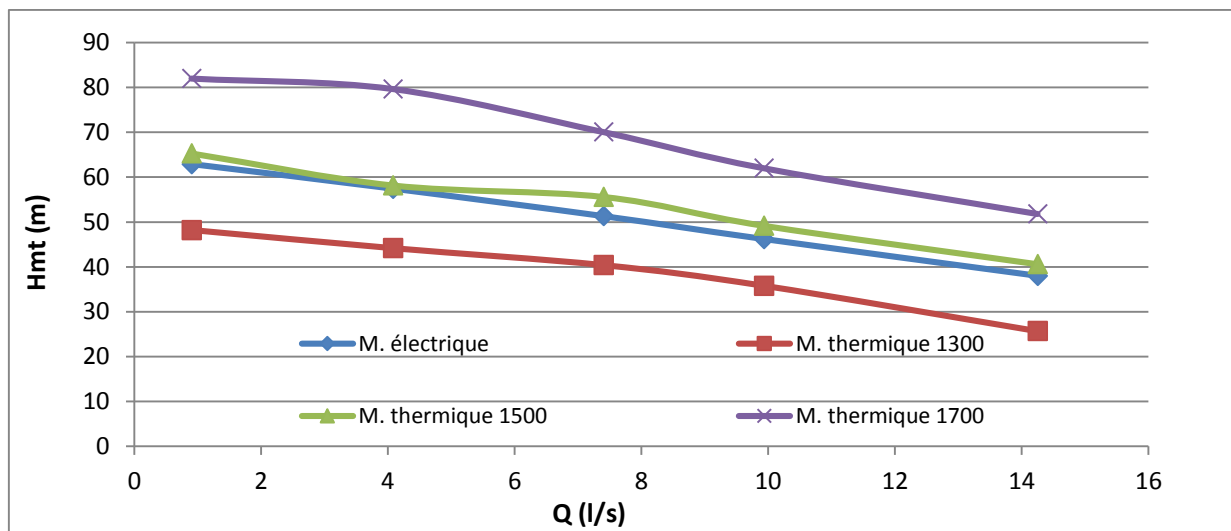
Tab 2 : Différentes étapes de détermination des paramètres hydrauliques et énergétiques retenus

Paramètre	Formule	Significations
Hauteur manométrique , appelée aussi parfois «colonne de fluide», correspond au travail mécanique fourni au fluide refoulé par unité de poids [13]	Hmt (m) = $H_{mr} + ND + H_{man}$ [14]	H_{mr} : hauteur manométrique de refoulement (m) ND : niveau dynamique de l'eau dans le puits d'aspiration (m) H_{man} : hauteur du manomètre par rapport au puits (m)
Puissance hydraulique	Phy (kW) = $(3,6 Q \times H_{mt} \times d) / 367$ [15]	Q : débit (l/s) H_{mt} : hauteur manométrique totale (m) d : densité par rapport à l'eau ; $d = 1$
Rendement du groupe de pompage	$\eta_{gp}(\%) = Phy / PT$ [15]	Phy : puissance hydraulique (kW) PT : puissance totale fournie par le moteur à la pompe (kW)
Rendement de la pompe	$\eta(\%) = \eta_{gp} / \eta_m$ [15]	η_{gp} : rendement du groupe déjà calculé(%) η_m : rendement du moteur donné par le constructeur(%)
Puissance absorbée	Pab(kW) = Phy / η [16]	P_{ab} : puissance absorbée par la pompe (kW) Phy : puissance hydraulique (kW) η : rendement de la pompe(%)

Résultats et discussion

Courbe de la hauteur manométrique totale en fonction du débit: $H_{mt} = f(Q)$

Les courbes représentant la variation de la hauteur manométrique totale en fonction du débit, $H_{mt} = f(Q)$, pour les différentes situations étudiées sont relatées par la figure 2 ci-après.

**Figure 2** : Courbes $H_{mt} = f(Q)$ des résultats relevés pour motorisations électrique et thermique

Les résultats expérimentaux ont bien montré que la H_{mt} et le débit sont liés au régime de rotation de la pompe. En effet, pour une pression donnée, le débit augmente avec l'accroissement du régime, et de même à un débit donné, la H_{mt} est plus élevée quand le régime croît.

Le léger décalage entre les courbes de la H_{mt} des moteurs électrique et thermique à 1500 tr/min semble être dû au glissement du moteur électrique qui tourne effectivement à 1475 tr/min.

La forme des courbes caractéristiques des pompes a une grande influence sur la sensibilité de la variation de la hauteur manométrique pour une

plage de variation du débit de l'installation. Lorsque on utilise la pompe pour répondre à des débits variables au niveau de l'exploitation, il serait toujours bénéfique d'opter pour les groupes ayant les caractéristiques plates de la fonction "charge en fonction de débit" [5].

Courbe des puissances en fonction du débit : $P = f(Q)$ et Courbe des rendements en fonction du débit : $\eta = f(Q)$

Les courbes des puissances en fonction du débit pour le pompage électrique mis à l'essai sont illustrées par la figure 3, alors que celles des

rendements du groupe et de la pompe montée sur moteur électrique sont représentées par la figure 4 ci-après.

Les courbes $P = f(Q)$ et $\eta = f(Q)$ confirment les mêmes constatations déjà faites ;

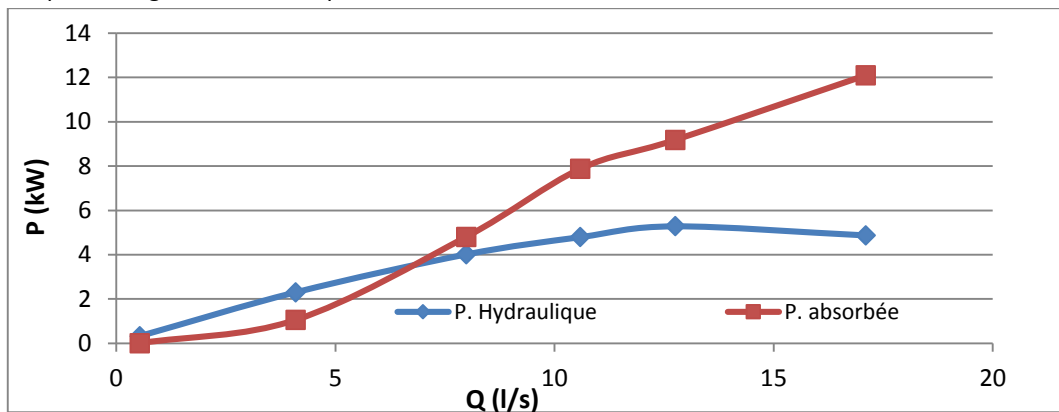


Figure 3 : Courbes $P = f(Q)$ des résultats obtenus pour l'électropompe mise à l'essai

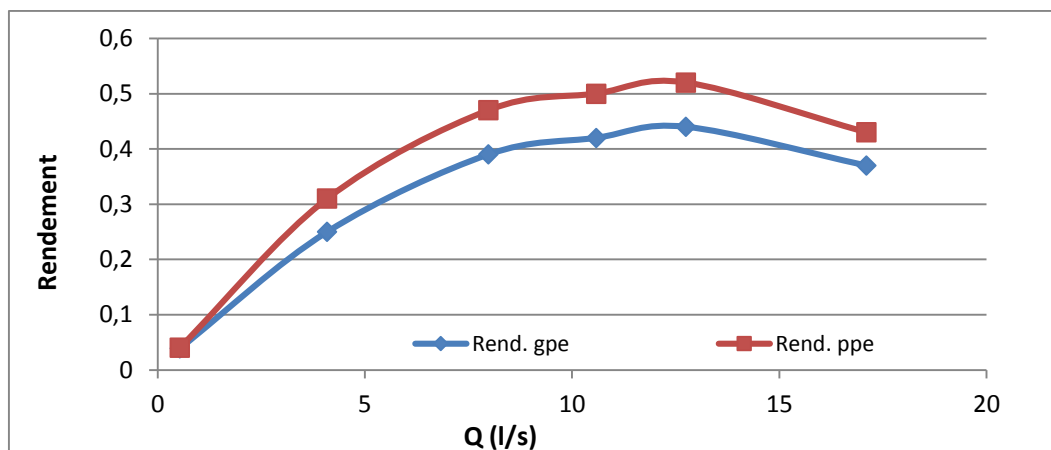


Figure 4 : Courbes $\eta = f(Q)$ des résultats obtenus pour l'électropompe mise à l'essai

- La puissance est proportionnelle au débit (figure 3). En effet, pour les pompes centrifuges, cette grandeur est pratiquement toujours croissante avec le débit [17] ;
- Le rendement (figure 4) atteint son maximum pour le débit nominal de la pompe, au-delà de ce point, le rendement décroît rapidement ;

Consommation de carburant

Les essais de pompage avec motorisation thermique ont permis de mesurer, en plus des paramètres hydrauliques Hmt et débit, la consommation de carburant pour les trois régimes considérés : 1300, 1500 et 1700 tr/min. Le tableau 3 indique les valeurs mesurées et calculées relatives à cet essai, à partir des expressions suivantes :

$$C_{sp} = Ch \times 0,845 / P ;$$

$$\eta = 3600 / C_{sp} \times 43000$$

Avec

C_{sp} : consommation spécifique en kg/kWh.

Ch : consommation horaire en l.

0,845 : densité du carburant.

P : puissance en kW.

η : rendement en %.

43000 : pouvoir calorifique inférieur (PCI) du gazole, exprimé en kJ/kg.

Notons que la consommation spécifique est un terme technique qui est utilisé pour quantifier le rendement énergétique d'un moteur par rapport à sa puissance.

Tableau 3 : Valeurs énergétiques relatives à l'essai thermique mis en œuvre

Régime (tr/min)	Puissance (kW)	Consommation horaire (kg)	Consommation spécifique (kg/kWh)	Rendement (%)
1300	8,7	1,66	0,19	44
1500	9,7	2,15	0,22	38
1700	11,4	3,20	0,28	30

On remarque que l'augmentation du régime moteur s'accompagne d'une augmentation de la puissance, d'une augmentation de la puissance spécifique et d'une diminution du rendement. Ainsi, le régime 1300 tr / min se trouve au minimum de la consommation spécifique et au maximum de rendement. Ceci bien qu'anormal par rapport à l'ordinaire, semble être lié, entre autres, à la vétusté du moteur.

Cependant, on remarque qu'au-delà de 1500 tr/min, la courbe de la consommation spécifique change en dévoilant une pente plus importante, ce qui met en évidence une consommation excessive à haut régime.

La performance et l'efficacité d'une pompe se détériorent au cours du temps. La vétusté des équipements peut engendrer des rendements très faibles dont la conséquence principale est une augmentation des coûts de pompage (consommation énergétique et surcoût de maintenance) [5].

La comparaison des niveaux de puissance et des rendements des moteurs électrique et thermique montre la supériorité du moteur électrique, en effet à la vitesse de 1500 tr/min, pour les deux essais électrique et thermique, on note, un rendement de 38% et une puissance de 9,7 kW sur le moteur thermique. Subséquemment, les valeurs moyennes de rendement et de la puissance sont

respectivement de 84% et 5,85 kW pour le moteur électrique.

Conclusion

Selon la forme de l'énergie disponible, notamment, l'électricité et l'énergie fossile, il existe un grand nombre de technologies pour pomper de l'eau. La comparaison entre les solutions thermique et électrique, retenues respectivement pour motopompe et électropompe, a permis particulièrement de dégager que les rendements sont supérieurs en solution électrique et qu'au niveau de la solution thermique, le respect du régime de rotation 1500 tr/min admet d'économiser de l'énergie dans les conditions expérimentales considérées (motopompe centrifuge horizontale équipée de quatre turbines).

Références bibliographiques

1. K Louhichi, G Flichman, A Comeau. *L'amélioration de l'efficacité de l'irrigation pour une économie d'eau: cas d'un périmètre irrigué en Tunisie. Medit*, **2000**, 3, 11, 21-29.
2. SOGREAH. *Les pompes et les petites stations de pompage. Collection « Techniques rurales en Afrique », Société Grenobloise d'Etudes et d'Applications Hydrauliques*, **1978**, 215.
3. JL Prensier, Ch Daux. *La chaîne d'énergie du pompage de l'eau*, **2006**, 13.
4. RE Griffin, GH Hargreaves, D Lattimore, W Clyma, J Keller, D Velder, LW Fitzgerald. *Guide-Plan N°3*,

- Aménagement des Eaux : Projet de Synthèse, L'Irrigation par pompage, 1982, 26.*
5. R Lebcir, Kh Mamouny, JL Sasseville. *La demande électrique pour le traitement de l'eau potable, Rapport scientifique No. 405 INRS-Eau. Université du Québec, 1994, 92.*
 6. S Nadon. *Évaluation de l'uniformité d'application des systèmes d'irrigation par aspersion, Présentation PPT, 2015, 28.*
https://www.agrireseau.net/documents/Document_89549.pdf
 7. A Biaiche. *Optimisation de la consommation énergétique en irrigation localisée, Agriculture du Maghreb, 2009, 37, 3.*
 8. IEA. *World energy outlook, International Energy Agency, 2007, 674.*
 9. M El Haddad. *ENERGIE 2025, Cahier de l'ITES N°1, 2016, 97.*
 10. DGE. *Observatoire National de l'énergie - Rapport mensuel. Direction Générale de l'Energie, Ministère de l'énergie, des Mines et des énergies Renouvelables, République Tunisienne, 2017, 26.*
 11. A Ladouani, A Nemdili. *Development of new models of performance correction factors of centrifugal pumps as a function of Reynolds number and specific speed. Forsch Ingenieurwes, 2013, 59.*
 12. SIHI Pumps. *Produits pour pompage, sd.*
http://www.sihipumps.com/option.com_virtuemart/page,shop.browse/category_id,11/Itemid,66.html
 13. Y les-Bains. *Entraînement des pompes centrifuges à vitesse variable pour réduire la consommation d'énergie, Séminaire sur les entraînements électriques, Haute École d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud, 2015, 27.*
 14. GRUNDFOS. *Calcul des performances d'une pompe. Pedrollo, France, 2008, 1.*
 15. CEMAGREF. *Collection Guide Pratique : Irrigation, Ouvrage Collectif, 1992, 324.*
 16. F González, H Sémiond. *Eau- Assainissement – Hygiène pour les populations à risque, Action contre la Faim. HERMANN, Paris, 2006, 785.*
 17. ENSPM. *Technologie et Fonctionnement des Pompes Centrifuges, Formation industrie-IFP training, 2005, 49.*