

Détermination des indicateurs de fiabilité des équipements dédiés au pompage

MANSIANTIMA LUTETE Doris¹, NTAMPAKA BIRUGA Benjamin¹, and MBAYA ILUNGA Edouard²

¹Université Pédagogique Nationale (UPN), RD Congo

²Assistant, Institut Supérieur de Techniques Appliquées (ISTA) de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The reliability indicators determine the state of equipments in operation. In this article we have calculated the different reliability indicators of the pump units of the Lukaya pumping plant used for the collection and the discharge of water. The values found made it possible to understand that the motor pump units are experiencing more and more a loss of performance and calls for the improvement of the practical availability variable.

KEYWORDS: Indicators, reliability, equipment, pumping.

RÉSUMÉ: Les indicateurs de fiabilité déterminent l'état des matériels en fonctionnement. Dans cet article nous avons calculé les différents indicateurs de fiabilité des groupes motopompes de l'usine de pompage de la Lukaya utilisés pour le captage et le refoulement de l'eau. Les valeurs trouvées ont permis de comprendre que les groupes motopompes connaissent de plus en plus une perte de performance et fait appel à l'amélioration de la variable disponibilité pratique.

MOTS-CLEFS: Indicateurs, fiabilité, équipement, pompage.

1 INTRODUCTION

Les pompes centrifuges font partie des machines utilisées dans les usines de captage et de traitement d'eau dans le but de puiser les eaux brutes des rivières et desservir en eau potable après traitement un quartier, une cité, une ville, ...

Du fait des impératifs de fiabilité, de sécurité et de flexibilité d'utilisation, les pompes centrifuges utilisées dans une usine de pompage, doivent être protégées contre de nombreuses sollicitations pouvant rendre leur fonctionnement défectueux entraînant ainsi et souvent un arrêt de la desserte en eau potable. La connaissance précise des différentes causes de défaillances de celles – ci est indispensable pour assurer leur bon fonctionnement.

Les arrêts prolongés des machines ont des répercussions directes sur l'exploitation du système, la production et les charges financières. Le responsable de la maintenance doit à tout instant de l'exploitation du système, faire un choix face aux interventions possibles sur le système afin de déterminer l'action à effectuer. Le temps de bon fonctionnement des machines est un paramètre très important car il a une grande influence sur la productivité et la prospérité de l'entreprise. Dans les principes industriels, plus le temps de bon fonctionnement est élevé, plus la production est grande et stable

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La présente étude a été menée dans l'usine de captage, de traitement et de distribution d'eau de la Regideso / Lukaya.

Géographiquement, cette usine se situe au quartier Kimwenza dans la commune de Mont Ngafula de la ville province de Kinshasa en RD Congo. Les eaux brutes sont captées dans la rivière Lukaya dont la vallée est longée par la ligne de chemin de fer Matadi – Kinshasa.

L'usine est dotée de deux points de captage :

Le point de captage provisoire a deux groupes motopompes (figure 1) :

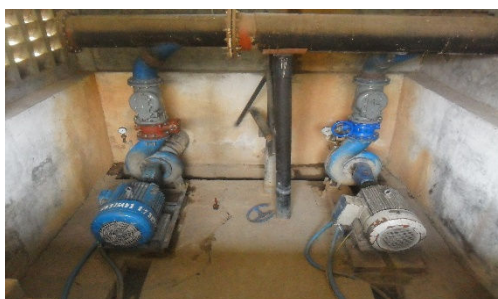


Fig. 1. Groupes motopompes du point de captage provisoire

Le nouveau point de captage quant à lui, est doté de quatre groupes motopompes. Signalons que ces pompes sont des pompes semi – immergées ayant les caractéristiques reprises dans les tableaux 1 et 2 suivants :

Tableau 1. Caractéristiques des pompes du nouveau captage (Source : Regideso – usine de la LUKAYA).

Type	Q [m ³ /h]	N (t/min)	H (m)
KSB	585	1475	16,2

Tableau 2. Caractéristiques des moteurs électriques du nouveau captage (Source : Regideso – usine de la LUKAYA).

Type	Puissance (KW)	Couplage	Fréquence (N)
Siemens	55	Δ / Y	50

Ce nouveau point de captage a été construit grâce au financement de la Banque Mondiale et les travaux de construction ont été exécutés par une entreprise de la coopération chinoise



Fig. 2. Groupes motopompes du nouveau captage

La partie refoulement est dotée de quatre groupes motopompes montés en parallèles (figure 3) et dont les caractéristiques sont mentionnées dans le tableau 3. Le tableau 4 reprend les caractéristiques des moteurs électriques d'entraînement de ces motopompes.



Fig. 3. Groupes motopompes de la partie refoulement

Tableau 3. Caractéristiques des pompes du refoulement (Source : Regideso – usine de la LUKAYA)

Type	Q[m ³ /h]	N (t/min)	H (m)
KSB	550	1485	220

Tableau 4. Caractéristiques des moteurs électriques entrainant les pompes du refoulement (Source : Regideso – usine de la LUKAYA)

Puissance (KW)	N[t /min]	I m (A)	Fréquence (HZ)
490	1485	883	50 / 60

2.2 LE RETOUR D'EXPÉRIENCE (REX)

Le retour d'expériences consiste à recueillir des données de défaillances et à l'exploiter de manière statistique afin de connaître la fiabilité moyenne représentée souvent par le MTBF. Retenons que le retour d'expériences est le moyen d'analyse qui donne les meilleurs estimations de fiabilité, il tient compte de toutes les défaillances (intrinsèques au produit ou accidentelles) et permet une description de l'impact des différents modes de panne.

3 CONCEPT GÉNÉRAUX DE LA FIABILITÉ

3.1 FIABILITÉ

La fiabilité d'un groupe d'éléments à un instant t est la probabilité de fonctionnement sans défaillance pendant la période [0,t], c'est donc la probabilité que l'instant de première défaillance T soit supérieur à t [1].

Lionnet P. [2] et Langlois R. [3] définissent la fiabilité comme l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période déterminée.

Cette fonction fiabilité, ou fonction de survie, se calcule aisément :

$$R(t) = \frac{\text{Nombre d'éléments en vie à l'instant } t}{\text{Nombre d'éléments au total}} \quad (1)$$

3.2 FORMULATION MATHÉMATIQUE DE LA FIABILITÉ: DIVERSES FONCTIONS DE LA FIABILITÉ

3.2.1 PROBABILITÉ DE DÉFAILLANCE

La fonction cumulative de panne F(t) est la probabilité qu'il survienne une panne avant la date t. Il s'agit du complément de R(t):

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2)$$

La figure 4 suivante nous présente la loi exponentielle d'apparition des défaillances [3], [4]:

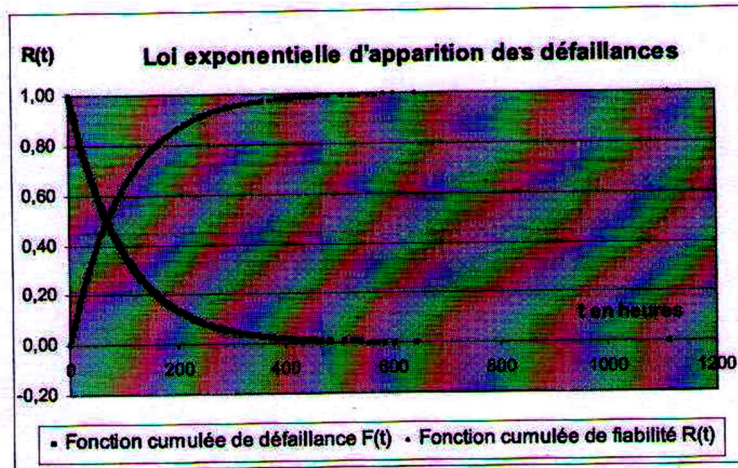


Fig. 4. Loi exponentielle d'apparition des défaillances

3.2.2 DENSITÉ DE PROBABILITÉ DE DÉFAILLANCE

On définit la fonction $f(t)$, à savoir la densité de probabilité de la variable T . Cette fonction multipliée par dt peut être interprétée comme la probabilité de défaillance entre t et $t + dt$.

$f(t)$ est la fonction de défaillance instantanée, on la définit comme suit :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} = \text{prob}\{t < T < t + dt\} \quad (3)$$

3.2.3 TAUX DE DÉFAILLANCE INSTANTANÉ

Il est le rapport de la densité de défaillance à la fiabilité. Il est noté $\lambda(t)$ et est exprimé par:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{R(t)dt} = \frac{-dR(t)}{R(t)dt} \quad (4)$$

Le taux de défaillance représente la proportion de dispositifs qui, ayant vécu un temps t , ne sont plus en vie à $t + dt$.

L'évolution du taux de défaillance en fonction du temps est en générale représentée par la courbe dite « courbe en baignoire » (figure 5) [5].

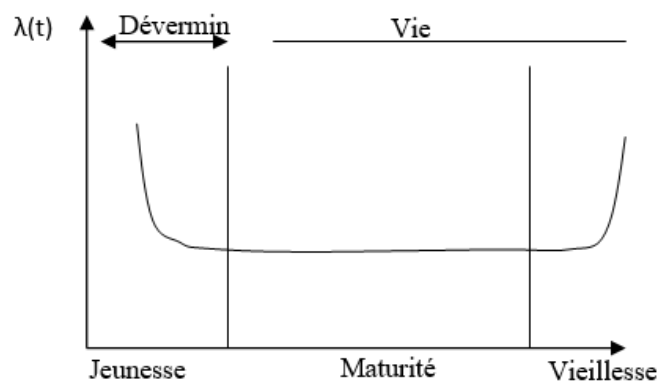


Fig. 5. Courbe en baignoire

La vie d'un composant peut donc être divisée en trois périodes:

- période de jeunesse, défaillances précoces ;
- période de vie utile, taux de défaillance sensiblement constant ;
- période de vieillesse, défaillances d'usure.

Lors de la période de jeunesse, le taux de défaillances diminue : la probabilité de panne d'un composant décroît avec le temps, les défaillances sont dues à des problèmes de qualité (mise en place des procédés et déverminage).

La période de vie utile est représentée par un taux de défaillance constant : la probabilité d'une panne est indépendante du nombre d'heures de fonctionnement de l'équipement (pannes aléatoires). Cette période, souvent inexistante pour la mécanique, est celle de référence pour l'électronique.

Lors de la période de vieillesse, la probabilité de panne augmente avec le nombre d'heures de fonctionnement : plus l'équipement est vieux, plus il est probable d'avoir une défaillance. Ce type de comportement est caractéristique des systèmes soumis à usure ou autres détériorations progressives qui correspondent à des taux de défaillance croissants [6], [7].

La fiabilité se limite généralement à l'étude des phases 2 et 3, on exclut les problèmes de quantité en ne tenant pas compte du déverminage qui a lieu lors de la première phase.

3.3 TEMPS DE FONCTIONNEMENT

3.3.1 LE MTBF

Le temps moyen entre panne ou moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF (Mean Time Between Failure) est un paramètre important de la fiabilité. Il représente le temps au bout duquel se produit la défaillance, c'est l'espérance mathématique $E(t)$ des temps où interviennent les pannes.

$$MTBF = \frac{\sum \text{Heures de défaillance}}{\text{Nombre d'équipements en essai}} \quad (5)$$

Soit à partir de la densité de probabilité :

$$MTBF = E(t) = \int_0^{\infty} t.f(t).dt = \int_0^{\infty} R(t).dt \quad (6)$$

La MTBF est l'un des paramètres de la fiabilité d'une machine. Elle est liée à son taux de défaillance et est exprimée par son inverse soit en unité de temps soit en unité de distance parcourue [km].

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

Elle est également liée à la mortalité relative qui est identifiée à l'âge moyen d'apparition des premières pannes, avec :

$$t = \sum_{t=1}^n t_p(t) = \frac{n(t-1) - n(t)}{n_0} \quad (8)$$

$(n - 1) - n(t)$ Correspond au nombre d'équipements (organes) en panne à la date t , n_0 au nombre d'organes (équipements) en service à la date t .

3.3.2 LA M.T.T.R

La moyenne des temps des tâches de réparation d'un équipement ou de remise en état. La MTTR comme la MTBF sont tous deux les éléments qui donnent un sens à la disponibilité du matériel, à la différence que la MTBF vise la fiabilité et la MTTR vise la maintenabilité [8], [9], [10].

Les réparations de matériels semblent englober le sens de la MTTR et pourtant il existe des interventions préventives qui ne sont pas nécessairement des réparations mais qui sont des arrêts du matériel.

La MTTR indique la durée d'une intervention sur une machine.

4 QUANTIFICATION DE LA DISPONIBILITÉ

La disponibilité peut se mesurer [10], [11] :

- sur un intervalle de temps donné (disponibilité moyenne) ;
- à un instant donné (disponibilité instantanée) ;
- à la limite, si elle existe, de la disponibilité instantanée lorsque $t \rightarrow \infty$ (disponibilité asymptotique).

4.1 DISPONIBILITÉ MOYENNE

La disponibilité moyenne sur intervalle de temps donné peut être évaluée par le rapport suivant [12], [13], [14] :

$$D = \frac{\text{Temps de disponibilité}}{\text{Temps de disponibilité} + \text{Temps d'indisponibilité}} \quad (9)$$

Ou :

$$D = \frac{TCBF}{TCBF + TCI} \quad (10)$$

Avec : TCBF = Temps cumulé de bon fonctionnement
TCI = Temps cumulé d'immobilisation

Le temps cumulé d'immobilisation comprend les temps d'intervention et les temps logistique. En l'exprimant par rapport à des temps moyens, la disponibilité moyenne s'écrit.

$$D = \frac{TMD}{TMD + TMI} \quad (11)$$

TMD : Temps moyen de disponibilité
TMI : Temps moyen d'indisponibilité

4.2 DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE

Le calcul de D_0 fait appel aux paramètres MTBF et MTTR

$$D_0 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (12)$$

4.3 DISPONIBILITÉ PRATIQUE

La disponibilité pratique est donnée par :

$$D_p = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + I} \quad (13)$$

I = l'inexpliqué (équivalent au temps de prise en charge, temps perdu, etc...).

5 CALCUL ET DÉTERMINATION DES INDICATEURS DE FIABILITÉ DES GROUPES MOTOPOMPES DE L'USINE DE LA LUKAYA UTILISÉS POUR LE CAPTAGE ET LE REFOULEMENT DE L'EAU

5.1 ANALYSE DES DONNÉES

La première démarche à faire est de repérer les nombres d'interventions (n_i) sur chaque groupe motopompe pour chaque année. Selon les renseignements recueillis sur le terrain, chaque groupe motopompe normalement fonctionne pendant 20 heures par jour (à temps plein). En tenant compte de certains aléas (coupure du courant électrique, temps perdu par une mise en marche en retard, ...) qui constituent 10 à 30% du temps effectif, nous adoptons 16 heures de marche pour chaque groupe motopompe.

Cela nous permet de calculer le temps de marche hebdomadaire, mensuel et annuel :

$$\begin{aligned} 16 \text{ heures / jour} \times 7 \text{ jours} &= 112 \text{ h / Semaine ;} \\ 112 \text{ heures / semaine} \times 4 &= 448 \text{ h / Mois ;} \\ 448 \text{ heures / mois} \times 12 &= 5376 \text{ h / année.} \end{aligned}$$

Donc 5376 heures est le temps de bon fonctionnement (TBF) annuel pour un groupe motopompe :

$$\text{TBF} = 5376 \text{ heures}$$

Comme notre étude s'étend sur 6 ans, on a:

$$\begin{aligned} \text{TBF} &= 5376 \text{ heures} \times 6 \\ \text{TBF} &= 32256 \text{ heures.} \end{aligned}$$

5.1.1 TAUX DE DÉFAILLANCE

Le taux de défaillance $\lambda(t)$ peut être déterminé par tranche de temps ou classe. Le nombre de classes r est déterminé par la relation suivante (relation de STURGE) :

$$r = 1 + 3,3 \log \sum n_i \quad (14)$$

De 2007 à 2012, $n_i = 230$

$$\begin{aligned} \text{D'où : } r &= 1 + 3,3 \log 230 \\ &= 1 + 3,3 \cdot 2,36 \\ &= 1 + 7,788 \\ r &= 8,788 \end{aligned}$$

Nous adoptons $r \approx 9$ classes.

5.1.2 DÉTERMINATION DES DIFFÉRENTS INTERVALLES DE TEMPS DE BON FONCTIONNEMENT (Δt)

Δt est déterminé par le rapport :

$$\Delta t = \frac{\text{TBF}}{r} \quad (15)$$

$$\text{D'où : } \Delta t = \frac{32256}{9} = 3584 \text{ heures}$$

Adoptons $\Delta t = 3600$ heures.

5.1.3 CLASSEMENT DE R, Δt ET n_i

Le classement de r , Δt et n_i est repris sur le tableau 5 ci-après :

Tableau 5. Valeurs de r , Δt et n_i

r	Δt	n_i
1	0 – 3600	14
2	3600 – 7200	4
3	7200 – 10800	15
4	10800 – 14400	27
5	14400 – 18000	16
6	18000 – 21600	26
7	21600 – 25200	10
8	25200 – 28800	60
9	28800 – 32400	58
Σ		230

Le tableau 5 indique le classement des classes r et les nombres des interventions n_i correspondants à chaque intervalle de temps Δt .

Nous constatons d'une part que les intervalles de temps qui séparent les classes sont les mêmes et, d'autre part une différence entre les nombres des interventions. Cette différence indique que les groupes motopompes ont connu des comportements différents dans chaque intervalle de temps. Ces nombres correspondent également aux nombres des pannes dans chaque classe.

5.1.4 CALCUL DU TAUX DE DÉFAILLANCE INSTANTANÉE DES GROUPES MOTOPOMPES

Le taux de défaillance instantanée est déterminé par la relation 16 suivante :

$$\lambda(t) = \frac{n_i}{N_i \cdot \Delta t} \quad (16)$$

Avec : n_i = nombre d'interventions ;
 N_i = nombre d'éléments défectueux à la date t.

Le tableau 6 nous donne les différents taux de défaillance instantanée par classe :

Tableau 6. Taux de défaillances instantanées par classe

R	Δt	n_i	N_i	$\lambda(t)$
1	0 – 3600	14	37	0,00027
2	3600 – 7200	4	7	0,00015
3	7200 – 10800	15	16	0,00026
4	10800 – 14400	27	16	0,00046
5	14400 – 18000	16	26	0,00017
6	18000 – 21600	26	34	0,00021
7	21600 – 25200	10	23	0,00012
8	25200 – 28800	60	24	0,00069
9	28800 – 32400	58	71	0,00022

Le tableau 6 montre que le taux de défaillances des groupes motopompes a une évolution en dents de scie presque constant c'est-à-dire quand il y a panne, il décroît et quand il ya réparation, il croît. Ce comportement est exactement celui des machines électromécaniques et correspond à la phase de maturité des machines (en se référant à la courbe en baignoire, cfr figure 4).

Au cours de cette période, les groupes motopompes ont connu des pannes répétitives qui se sont stabilisées au moment où les opérations de réparation, de rechange des pièces ou éléments défectueux ont été effectuées.

La fonction de défaillance instantanée est calculée par la relation suivante :

$$F(t) = \frac{n_i}{N_0 \cdot \Delta t} \quad (17)$$

Tableau 7. Fonctions de défaillances instantanées

R	Δt	n_i	N_i	F(t)
1	0 – 3600	14	37	0,00038
2	3600 – 7200	4	7	0,00011
3	7200 – 10800	15	16	0,00041
4	10800 – 14400	27	16	0,00075
5	14400 – 18000	16	26	0,00044
6	18000 – 21600	26	34	0,00072
7	21600 – 25200	10	23	0,00027
8	25200 – 28800	60	24	0,000166
9	28800 – 32400	58	71	0,000161

Le tableau 7 nous montre également une évolution en dents de scie des fonctions de défaillances. Ce constat coïncide avec celui fait au sujet des valeurs des taux de défaillances du tableau 6. Cette coïncidence nous permet de confirmer que les machines ont réellement atteint la phase de maturité. Au cours de cette période, les machines ont connu des pannes liées à des phénomènes mécaniques tels que l'usure, la fatigue des composants.

Ces valeurs des fonctions de défaillances prouvent également que les groupes motopompes doivent bénéficier d'une politique de maintenance rigoureuse qui aidera à les maintenir en stabilité de fonctionnement.

5.1.5 CALCUL DE LA FONCTION DE FIABILITÉ

La fonction de fiabilité est déterminée par la relation :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (18)$$

Tableau 8. Fonctions de fiabilité

r	Δt	R(t)
1	0 – 3600	3,7
2	3600 – 7200	0,7
3	7200 – 10800	1,6
4	10800 – 14400	1,6
5	14400 – 18000	2,6
6	18000 – 21600	3,4
7	21600 – 25200	2,3
8	25200 – 28800	2,4
9	28800 – 32400	7,1

Le tableau 8 nous donne les différentes valeurs des fonctions de fiabilité des groupes motopompes. Ces valeurs indiquent que plus les machines fonctionnent, plus elles perdent progressivement leur fiabilité.

5.1.6 CALCUL DE MTBF

La MTBF étant aussi liée à la mortalité (cfr formule) ; elle est trouvée par :

$$MTBF = \frac{1}{N_0} \cdot (n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + n_3 \cdot t_{13} + n_4 \cdot t_4 + n_5 \cdot t_5 + n_6 \cdot t_6 + n_7 \cdot t_7 + n_8 \cdot t_8 + n_9 \cdot t_9) \quad (19)$$

$$MTBF = \frac{1}{10} \cdot (14.900 + 4.900 + 15.900 + 27.900 + 16.900 + 26.900 + 10.900 + 60.900 + 58.900)$$

$$MTBF = \frac{1}{10} \cdot (12600 + 3600 + 13500 + 24300 + 14400 + 23400 + 9000 + 54000 + 52200).$$

$$MTBF = \frac{1}{10} \cdot 207000$$

MTBF = 20700 heures.

5.1.7 CALCUL DU MTTR (MOYENNE DES TEMPS DE TÂCHES DE RÉPARATION)

La MTTR est déterminée de la manière suivante :

$$MTTR = TBF - MTBF - I \quad (20)$$

Avec : I = l'Inexpliqué = 10 à 30 % du TBF
 I = 32256 x
 I = 9677 heures

I équivaut au temps de prise en charge, temps perdu, etc.)

D'où : MTTR = 32256 – 20700 – 9677 = 1879 heures.

5.1.8 DISPONIBILITÉS**5.1.8.1 DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE (THÉORIQUE)**

La disponibilité théorique est trouvée comme suit :

$$D_0 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (21)$$

En remplaçant chaque terme par sa valeur, on obtient :

$$D_0 = \frac{20700}{20700 + 1879};$$

$$D_0 = 91,6\%$$

5.1.8.2 DISPONIBILITÉ PRATIQUE

La disponibilité pratique est donnée par :

$$D_p = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + I} \quad (22)$$

$$D_p = 0,641 = 64,1\%$$

6 INTERPRÉTATION DES VALEURS DÉTERMINÉES

La réussite de la gestion d'une usine de production dépend en grande partie de la maîtrise et de la compréhension des indicateurs de fiabilité par ceux qui sont commis à sa gestion.

Le temps de bon fonctionnement des machines est un facteur important car il a une grande influence sur la productivité et la prospérité de l'entreprise. Les machines utilisées dans l'usine de la Lukaya ont des valeurs de temps de bon fonctionnement qui peuvent être jugés acceptables et exploitables pour la production. Dans les principes industriels, plus le temps de bon fonctionnement des machines est élevé, plus la production est grande et stable.

Par contre, la valeur du M.T.T.R doit être faible car lorsque le temps de réparation est long cela occasionne d'une part un manque à gagner pour l'entreprise et d'autre part cela a des conséquences du côté clientèle en attente d'être servi. C'est ainsi qu'il est important pour les responsables chargés de la maintenance de l'usine de travailler et de développer de bonnes stratégies de maintenance afin de réduire la M.T.T.R des machines.

Du côté disponibilité, nous avons observé que la valeur de la D_p est petite et l'écart entre D_0 et D_p prouve que les groupes motopompes ont connu beaucoup d'arrêts. Ces arrêts ont des répercussions sur la desserte en eau potable et pèsent sur le budget de la maintenance en particulier et sur celui de l'entreprise en général. Cet écart prouve également que les groupes motopompes utilisés pour le captage et le refoulement de l'eau traité perdent de plus en plus leur performance dans le temps suite aux défaillances. D'où la nécessité de travailler à l'amélioration de la variable disponibilité pratique par la mise en place de nouvelles stratégies de maintenance afin de pallier à cette situation.

La disponibilité des machines et des équipements de production dans une entité industrielle doit être la plus grande préoccupation de ceux qui dirigent l'usine, car elle est l'une des indicateurs de fiabilité des machines. C'est pourquoi, ils doivent travailler de manière à réduire sensiblement ou à éliminer les paramètres qui influent négativement sur la fiabilité des machines.

La prise en compte de stress environnementaux ou autres dans la prévision de fiabilité apporte de plus la précision indispensable à la sûreté de fonctionnement.

7 DISCUSSION DES VALEURS OBTENUES

La connaissance des valeurs des différents paramètres de fiabilité calculées est indispensable pour la bonne marche et la survie des machines au cours du temps.

Les valeurs du TBF des pompes dépendent généralement de leur conception et leurs usages. Selon Singpurwalla [15] et Salmi A. [16], les valeurs des TBF des pompes centrifuges à usage industriel ne sont pas souvent inférieures à 5000 heures. En comparant la valeur du TBF des groupes motopompes de l'usine, nous constatons que celle-ci coïncide avec celle de la théorie des auteurs citées ci-haut.

Les paramètres disponibilités déterminés montrent qu'il y a un écart considérable entre la disponibilité théorique et la disponibilité pratique. Dans la littérature Zwingelstein [17] indique que l'écart entre la disponibilité théorique et pratique d'une machine ne doit pas être supérieur à 10%. En comparant les valeurs trouvées pour les groupes motopompes de l'usine, nous remarquons que cet écart est supérieur à 20%. D'où le besoin de l'amélioration de la disponibilité pratique par le renforcement des stratégies de maintenance.

8 CONCLUSION

Les indicateurs de fiabilité déterminent l'état des matériels en fonctionnement et en exploitation. Ils permettent de déterminer l'état du système et de suivre sa dégradation.

Dans la présente recherche, nous avons observé que la valeur de la D_p est petite et l'écart entre D_o et D_p prouve que les groupes motopompes ont connu beaucoup d'arrêts. Ces arrêts ont des répercussions sur la desserte en eau potable et pèsent sur le budget de la maintenance en particulier et sur celui de l'entreprise en général. D'où la nécessité pour à travailler pour l'amélioration de la performance et de la variable disponibilité pratique des machines.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nos remerciements s'adressent au Professeur Emérite NTAMPAKA BIRUGA Benjamin et l'assistant MBAYA ILUNGA Edouard pour leurs apports à la rédaction de cet article. Leurs critiques et aussi leurs encouragements ont été une contribution précieuse, c'est pourquoi nous leurs témoignons notre gratitude.

REFERENCES

- [1] P. LYONNET, Ingénierie de la fiabilité. Edition TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 2006.
- [2] Barger P. Evaluation et validation de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes d'automatisation à l'intelligence distribuée, en Phase dynamique. Thèse de doctorat de l'UHP Nancy I, France, 2003.
- [3] CHAPOUILLE P., Fiabilité et maintenabilité. Les Techniques de l'ingénieur, Traité de l'entreprise industrielle. Edition 2003.
- [4] LYONNET P, la maintenance : mathématiques et méthodes, 4^{ème} édition. Edition TEC et DOC, 2000.
- [5] LANNOY A., Analyse quantitative et utilité du retour d'expérience pour la maintenance des matériels et la sécurité, Ed Eyrolles, 61, Bd S^t Germain, Paris 5^e, 1996.
- [6] DELOUX E., Politiques de maintenance conditionnelle pour un système à dégradation continue soumis à un environnement stressant, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2008.
- [7] GLADE M., Modélisation des coûts de cycle de vie : prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité. Application à l'aéronautique, Thèse de doctorat, Ecole Central de Lyon, 2005.
- [8] LANGLOIS R., Durée de vie, fiabilité, disponibilité des matériels, Ed. Dunod, Paris, 1988. Analysis, 7:85 – 103, 2000.
- [9] DASCAU D., Méthodes probabilités pour la modélisation de la maintenance préventive. UT de Compiègne, 2001.
- [10] BELLAOUAR A., Fiabilité, maintenabilité, disponibilité. Université Constantine, 2014.
- [11] CANAVELIS R., LAPRAY J.F. et REY R., Etude d'un critère de fiabilité vis-à-vis de l'érosion par cavitation dans les pompes, Montréal, 1986.
- [12] CASTANIER B., Modélisation stochastique et optimisation de la maintenance conditionnelle des systèmes à dégradation graduelle. PhD Thesis, Université de Technologie de Troyes, 2002.
- [13] DEKKER R., Applications of maintenance optimization models; a review and analysis. Reliability Engineering and system safety, 51: 229 – 240, 1996.
- [14] MARCOVI C. et LIGIVIRON J.C, « utilisation des techniques et fiabilité en mécanique ». Technique et documentation, Paris, 1974.
- [15] SINGPURWALTA N.D., Survival in dynamic environments. Statistical science, 1995.
- [16] SALMI A et GASSARELLIL B., Contribution à la maintenance préventive d'une installation de pompage (cas ELMA LABIOD TEBESSA), Mémoire de Master, Université Larbi Tebssi Tebessa, 2016.
- [17] ZWINGELSTEIN G., La Maintenance basée sur la fiabilité. Hermes – Paris, 1999.