

Etude de la maintenance des pompes centrifuges soumises à un environnement stressant

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: One of the major problems encountered in factories is the maintenance of production equipments. The purpose of this article is to evaluate the failures of the centrifugal pump units used in the Regideso / Lukaya plant to draw and distribute water, while investigating their causes. The results expressed graphically showed us that the pump units regularly experienced problems, a situation that led to periods of instability in the distribution of water.

KEYWORDS: Maintenance, centrifugal pumps, environment, stressful.

RÉSUMÉ: L'un de grands problèmes rencontrés dans les usines est la maintenance des équipements de production. L'objectif de cet article est d'évaluer les défaillances des groupes motopompes centrifuges utilisées dans l'usine de la Regideso / Lukaya pour puiser et pour distribuer de l'eau, tout en recherchant leurs causes. Les résultats exprimés graphiquement nous ont montrés que les groupes motopompes ont régulièrement connu des problèmes, situation qui a conduit des périodes d'instabilité dans la distribution de l'eau.

MOTS-CLEFS: Maintenance, pompes centrifuges, environnement, stressant.

1 INTRODUCTION

Les turbomachines sont employées dans de nombreux secteurs et couvrent une gamme d'application très large. Elles sont utilisées dans de domaines stratégiques comme le transport, la distribution de l'eau, la production de l'énergie électrique...

Les pompes centrifuges font partie des machines utilisées dans les usines de pompage 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.

La mise en place dans une usine des stratégies et d'une bonne politique de maintenance à des répercussions directes sur l'exploitation d'un 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. La détermination de fréquences des interventions fait appel à la connaissance des différents types de maintenance.

L'un des moyens de préserver ou de garantir la sécurité des machines est d'avoir une fréquence de maintenance très élevée. Et pourtant d'un point de vue économique, il peut être intéressant de ne pas intervenir pour ne pas ralentir la production. Il est donc important de trouver un équilibre entre maintenance préventive et maintenance corrective.

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 2) :

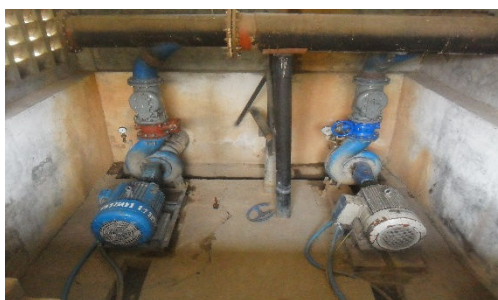


Fig. 1. Groupes motopompes du point de captage provisoire

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 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.

2.3 ACTIVITÉS ORGANISÉES AUX ENVIRONS DE L’USINE

Avec l’extension de la ville, plusieurs activités sont organisées aux environs de l’usine : cultures maraîchères, carrière de concassage des pierres de construction, fermes avicoles et porcines, sites touristiques, etc. Toutes ces activités ont une certaine influence sur l’environnement. Prenons par exemple le cas de la carrière de concassage des pierres, qui est située à moins d’un kilomètre de l’usine. Comme toutes les activités humaines, l’exploitation d’une carrière ne se fait pas sans effets nocifs sur l’environnement.

L’évaluation des incidences sur l’environnement est précieuse pour définir les sources principales des problèmes éventuels, et cibler en conséquence les moyens qui amélioreront le plus efficacement la situation.

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressés à l’influence de ces activités sur l’environnement des machines.

3 POMPES CENTRIFUGES

3.1 IMPORTANCE TECHNIQUE DE LA POMPE CENTRIFUGE

Le principe de la pompe est apparu dès que l’homme a su construire un habitat artificiel pour se protéger contre des éléments naturels. Le besoin en eau nécessaire à sa survie l’obligea à trouver un système de transport de cette eau, du puits ou de la rivière à son habitat. Il faudra attendre la fin de 18^e siècle pour avoir les premières pompes.

3.2 ELÉMENTS DE CONSTRUCTION DE LA POMPE

Une pompe centrifuge dans sa forme moderne est composée des éléments suivants [1], [2] :

- une roue : garnie d'un certain nombre d'aubes ou ailette ;
- un diffuseur : garni lui aussi d'ailettes ;
- une volute : qui canalise le fluide du diffuseur vers la tubulure de sortie.

Le travail utile et la hauteur manométrique de la pompe sont donnés par la relation :

$$W_h = g \cdot H_h = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2} (C_2^2 - C_1^2) + g(Z_2 - Z_1) \quad [J / Kg] \quad (1)$$

La pompe n'est pas parfaite, en raison de la perte de charge à l'intérieur de la pompe, le fluide doit recevoir une quantité de travail $w > w_h$.

1.1. Paramètres de fonctionnement

Lors de l'étude d'une pompe, les caractéristiques globales les plus importantes sont la hauteur, le débit et le rendement. En négligeant les pertes, la hauteur peut être exprimée à partir de l'équation de Bernoulli, écrite sur une ligne de courant moyenne de l'entrée 1 à la sortie 2 [3], [4], [5], [6] :

$$H = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{C^2}{2g} + Z \right)_2 - \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{C^2}{2g} + Z \right)_1 \quad (2)$$

La puissance reçue par le fluide est définie comme la puissance hydraulique et elle est calculée par :

$$\rho_h = \rho \cdot g \cdot q_v \cdot H \quad (3)$$

On détermine le rendement global η de la machine comme le rapport entre l'énergie apportée au fluide et la puissance mécanique absorbée :

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot q_v \cdot H}{P_a} \quad (4)$$

Où P_a est la puissance mécanique absorbée.

D'une manière générale, les pertes sont classées en trois groupes : hydrauliques, volumétriques et mécaniques. Ces trois types de pertes sont à l'origine de trois rendements internes.

Le rendement hydraulique η_h définit le rapport entre la hauteur réelle fournie par la machine et la hauteur idéale donnée par l'équation d'Euler. Il tient compte des pertes par frottement et par désadaptation du débit :

$$\eta_h = \frac{H}{H_{th}} \quad (5)$$

Le rendement volumétrique η_v caractérise le débit de fuite interne entre la sortie et l'entrée par suite des jeux de fonctionnement :

$$\eta_v = \frac{q_v}{q_v + q_{vf}} \quad (6)$$

avec q_{vf} : le débit de fuite.

Enfin, les pertes mécaniques sont prises en compte par le calcul du rendement mécanique. Elles sont associées aux pertes par frottement de toutes les composantes mécaniques : arbre, paliers, systèmes d'étanchéité, frottement de disques etc...

$$\eta_m = \frac{P_a - P_m}{P_a} \quad (7)$$

Avec P_m : perte mécanique totale

D'après ces trois définitions, le rendement global de la machine peut être exprimé par leur produit :

$$\eta = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m \quad (8)$$

4 MAINTENANCE

4.1 DÉFINITION DE LA MAINTENANCE

Le dictionnaire le Robert [7] donne de la maintenance la définition suivante : ensemble des opérations d'entretien destiné à accroître la fiabilité ou pallier des défaillances. André Lannoy [8] définit la maintenance comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans son état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

4.2 TYPES DE MAINTENANCE

D'une manière générale, les différents principaux types de maintenance rencontrés sont [9], [10], [11] :

- la maintenance préventive ;
- la maintenance corrective.

La maintenance préventive a pour objet de réduire la probabilité de défaillances c'est-à-dire la décision d'intervenir précède l'apparition du dysfonctionnement. Il existe trois groupes de maintenance préventive :

- la maintenance systématique ;
- la maintenance conditionnelle ;
- la maintenance prévisionnelle.

La maintenance corrective à son tour, est l'ensemble des activités réalisées après la panne du système. Elle a pour but de remettre la machine ou le système en état de marche. Cette maintenance corrective peut être :

- palliative ;
- curative ;
- corrective.

5 NOTIONS SUR LA DÉFAILLANCE

La défaillance ou avarie quand un défaut apparaît, c'est un écart entre ce qui devrait être et ce qui est [12].

Pour mettre en place une politique de maintenance efficace, il importe de comprendre les phénomènes de dégradation et de défaillance de matériels.

5.1 CLASSIFICATION DE LA DÉFAILLANCE

De nombreuses classifications des défaillances existent [12], [13], [14]. Ces classifications portent sur les causes des défaillances, leurs impacts sur les performances du système.

5.1.1 CLASSIFICATION DE LA DÉFAILLANCE PAR CAUSE

Cette classification distingue les défaillances dites aléatoires et des défaillances dites systématiques. La figure 1 nous la présente.

1. **Défaillances aléatoires** : les défaillances aléatoires sont des défaillances physiques pour lesquelles les performances du système diminuent à cause d'une dégradation physique. Dans les défaillances aléatoires, on distingue :
 - a. **les défaillances liées à la dégradation du système** : ces défaillances sont liées au vieillissement du système.
 - b. **les défaillances liées au stress** : les défaillances qui sont liées à des stress excessifs sur le système. Ces stress peuvent être dus à des causes extérieures ou à des erreurs humaines durant la phase d'opération ou de maintenance.
2. **Défaillances systématiques** : les défaillances systématiques ne sont pas physiques. Les performances du système diminuent alors que ce dernier n'est physiquement pas dégradé. Ces défaillances peuvent être éliminées uniquement par

une modification de sa conception ou du processus de fabrication, des procédures d'opération ou la documentation. On distingue :

- a. **les défaillances liées à la conception** : qui sont initiées lors des études préliminaires, de la fabrication ou des installations et peuvent être latentes depuis la mise en service du système.
- b. **les défaillances liées aux interactions** : ces défaillances sont initiées par erreurs humaines durant les phases d'opérations et de maintenance ou de test.

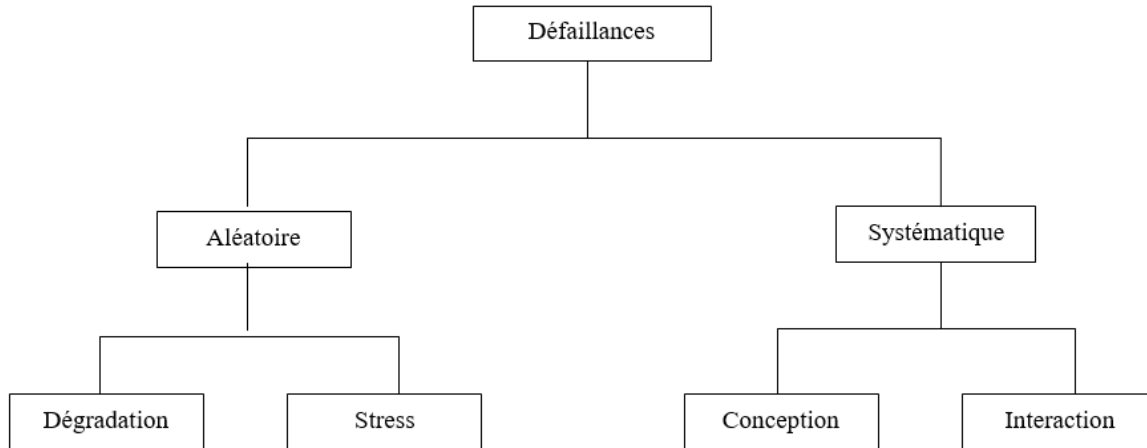


Fig. 4. Classification de la défaillance en fonction de sa cause [15],[16].

5.1.2 CLASSIFICATION DES DÉFAILLANCES PAR IMPACT SUR LES PERFORMANCES DU SYSTÈME

On peut également classer les défaillances en fonction de leurs impacts sur les performances du système.

- 1. **Défaillances intermittentes** : ces défaillances résultent d'une perte de certaines des fonctions pour une très courte durée dans le temps. Le bloc fonctionnel retrouve ses performances d'opération tout de suite après la défaillance c'est-à-dire le système retrouve son aptitude à sa fonction requise sans avoir été soumis à une action corrective extérieure.
- 2. **Défaillances étendues** : ces défaillances résultent d'une perte de certaines des fonctions qui perdure dans le temps jusqu'à ce que le bloc fonctionnel soit remplacé ou réparé. On trouve les défaillances suivantes pour les défaillances étendues :
 - défaillances complètes : défaillances qui causent la perte totale de la fonction principale ;
 - défaillances partielles : défaillances qui conduisent à la perte de certaines fonctions mais ne causent pas la perte complète de la fonction principale.

Ces deux défaillances (défaillances complètes et défaillances partielles peuvent elles-mêmes être divisées en deux types :

- a. **défaillances soudaines** : ces défaillances ne peuvent pas être prédites par des tests.
- b. **défaillances graduelles** : ces défaillances peuvent être prédites par des tests ou des inspections. Une défaillance graduelle représente une perte graduelle des performances du système.

Enfin, les défaillances catastrophiques correspondent aux défaillances soudaines et complètes, alors que les défaillances dégradées correspondent aux défaillances partielles et graduelles.

6 RECENSEMENT ET ÉVALUATION DES PANNES DES GROUPES MOTOPOMPES

6.1 NOMBRES DES PANNES DES GROUPES MOTOPOMPES AU COURS DE L'ANNÉE 2009

Le tableau 5 suivant nous donne les nombres des pannes des groupes motopompes au cours de l'année 2009.

Tableau 5. Nombres des pannes des groupes motopompes au cours de l'année 2009 (Source : Regideso – Usine de la Lukaya)

N°	ORGANES	2009											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1.	GMP N°1 CAPT.	4	3	2	1	5	3	5	3	2	2	3	3
2.	GMP N°2 CAPT.	6	0	0	3	0	2	2	3	3	0	2	2
3.	GMP N°1 REF.	0	1	1	2	0	1	2	3	3	1	0	0
4.	GMP N°2 REF.	3	2	3	2	1	4	3	1	1	0	0	0
5.	GMP N°3 REF.	1	2	1	0	2	3	2	3	3	1	1	1
6.	GMP N°4 REF.	0	2	2	1	1	2	3	3	1	2	2	0

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

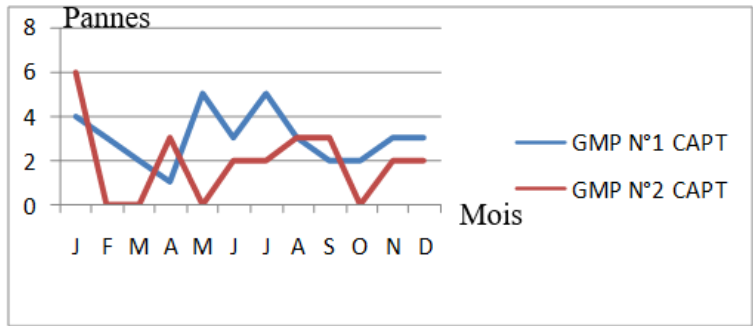


Fig. 5. Evolution des pannes des groupes motopompes du point de captage au cours de l'année 2009.

La situation au refoulement est présentée par les figures 6 et 7 :

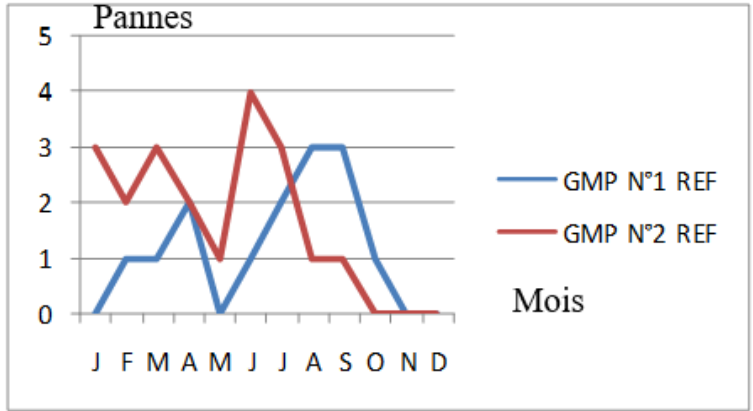


Fig. 6. Evolution des pannes des groupes motopompes n°1 et 2 refoulement au cours de l'année 2009

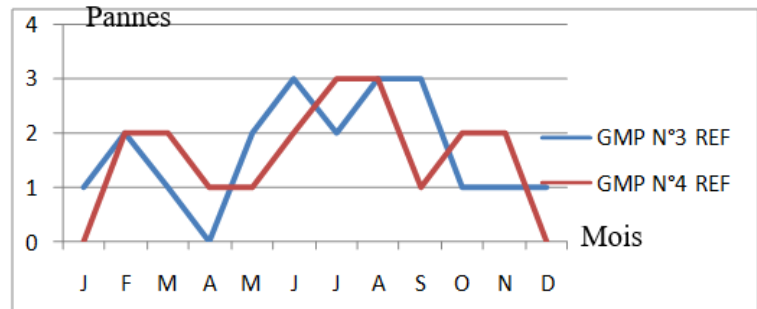


Fig. 7. Evolution des pannes des groupes motopompes n°3 et 4 refoulements au cours de l'année 2009

La figure 5 indique l’allure des pannes des groupes motopompes en 2009. Au cours de cette année, la figure montre que l’allure du graphique de chaque groupe motopompe a une évolution en dents de scie. Cela reflète leur instabilité de fonctionnement et leurs arrêts répétés. Le groupe n°1 captage a connu le plus grand nombre de défaillances, il est l’équipement le plus immobilisé. De même, le groupe motopompe n°2 captage a connu un fonctionnement très instable, il a connu beaucoup de temps d’arrêts au mois de janvier, avril, juillet, novembre et décembre.

Concernant la partie refoulement, nous constatons dans les graphiques une évolution du comportement des machines en dents de scie, donc un fonctionnement instable. Le groupe motopompe n°1 refoulement était le moins immobilisé. Les groupes n°2, n°3 et n°4 refoulement à leur tour, avaient posé beaucoup plus de problèmes. D’où, la nécessité pour l’usine à développer une politique de maintenance permettant de minimiser les défaillances.

6.2 NOMBRES DES PANNES DES GROUPES MOTOPOMPES AU COURS DE L’ANNÉE 2010 (SOURCE : REGIDESO – USINE DE LA LUKAYA)

Tableau 6. Nombres des pannes des groupes motopompes au cours de l’année 2010. (Source : Regideso – usine de la Lukaya)

N°	ORGANES	2010											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1.	GMP N°1 CAPT.	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	2	0
2.	GMP N°2 CAPT.	2	0	4	3	2	2	2	1	1	1	2	1
3.	GMP N°1 REF.	2	3	3	2	0	0	2	1	1	0	1	1
4.	GMP N°2 REF.	3	1	1	0	1	1	1	3	2	2	1	0
5.	GMP N°3 REF.	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	0	0
6.	GMP N°4 REF.	1	0	1	2	0	0	2	1	3	2	1	0

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

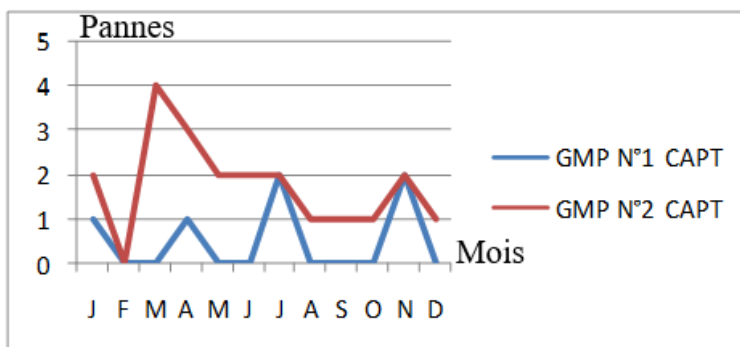


Fig. 8. Evolution des pannes des groupes motopompes du point de captage au cours de l’année 2010

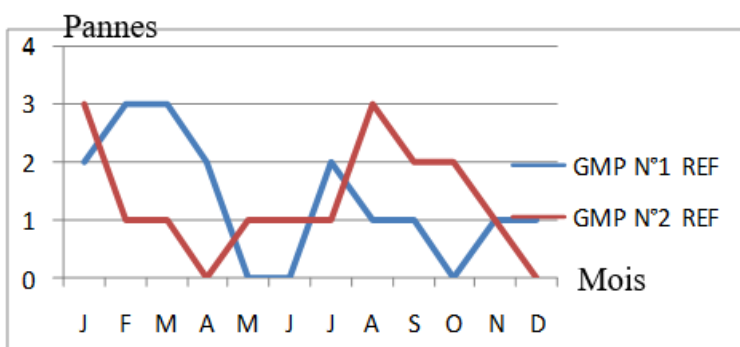


Fig. 9. Evolution des pannes des groupes motopompes du point de captage au cours de l’année 2010

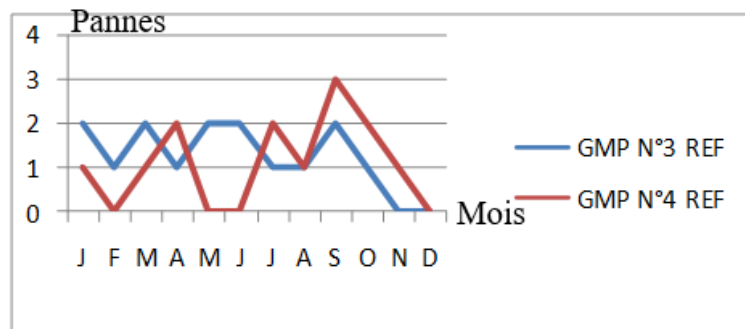


Fig. 10. Evolution des pannes des groupes motopompes n°3 et 4 refoulement au cours de l'année 2010

La figure 8 montre l'évolution des pannes du point de captage au cours de l'année 2010.

Le groupe motopompe n°1 captage a connu les arrêts aux mois de janvier, avril, juillet et novembre. Les arrêts répétés de cet équipement diminuent sa rentabilité et nuisent également à la production d'une manière générale. Le groupe motopompe n°2 captage est tombé beaucoup plus en panne par rapport au n°1, il n'avait qu'un mois de fonctionnement stable : février. Le nombre élevé des pannes est constaté aux mois de mars, mai, juin et novembre. Cette situation a reflété le niveau de déséquilibre de la partie captage de l'usine. Le dysfonctionnement ou l'indisponibilité prolongée de ces groupes motopompes, influent négativement sur la production.

Les figures 9 et 10 présentent la situation de la partie refoulement.

Au refoulement, le graphique indique que le groupe n°4 était le plus disponible et le n°1 et 3, avaient connu un fonctionnement plus au moins stable. Concernant l'état du n°2, celui-ci était le groupe le plus indisponible, le mois de janvier et juillet sont considérés comme les mois noirs car beaucoup d'arrêts ont été enregistrés. Un système se dégradant très rapidement a besoin d'être inspecté plus fréquemment qu'un système se dégradant lentement.

6.3 NOMBRES DES PANNES DES GROUPES MOTOPOMPES DE L'ANNÉE 2011 (SOURCE : REGIDESO – USINE DE LA LUKAYA)

Tableau 7. Nombres des pannes des groupes motopompes au cours de l'année 2011. (Source ; Regideso – usine de la Lukaya)

N°	ORGANES	2011											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1.	GMP N°1 CAPT.	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	3
2.	GMP N°2 CAPT.	1	1	0	2	0	2	2	1	2	2	3	1
3.	GMP N°1 REF.	0	2	0	1	1	0	2	2	2	2	1	0
4.	GMP N°2 REF.	2	0	1	2	4	2	1	2	1	4	1	2
5.	GMP N°3 REF.	0	0	2	1	1	0	0	1	1	8	2	0
6.	GMP N°4 REF.	2	2	0	2	0	0	1	2	2	2	0	0

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

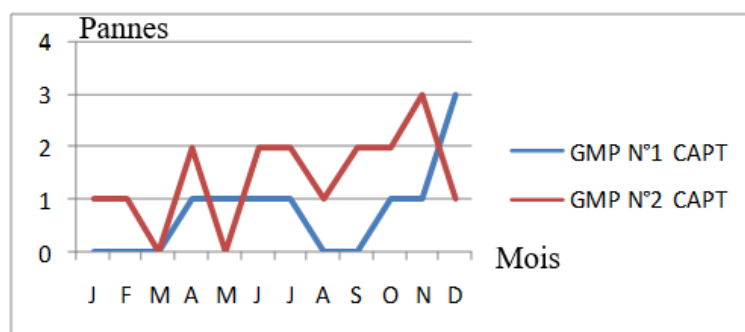


Fig. 11. Evolution des pannes des groupes motopompes n°3 et 4 refoulement au cours de l'année 2010

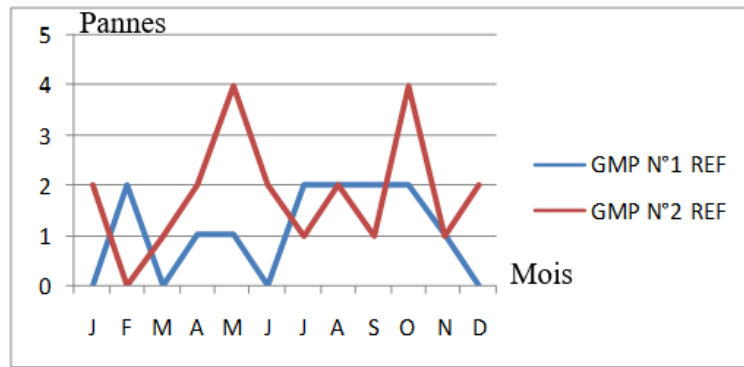


Fig. 12. Evolution des pannes groupe motopompes n°1 et 2 refoulements au cours de l'année 2011

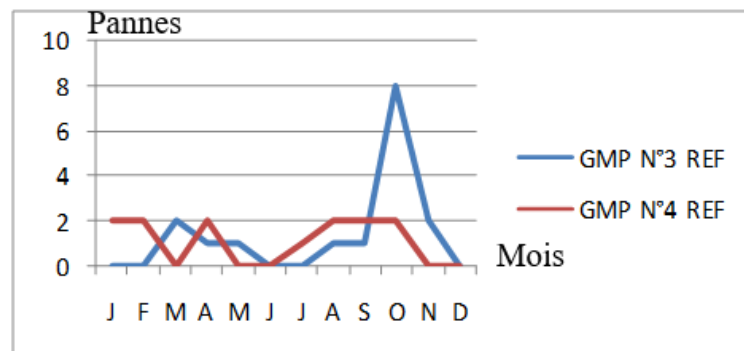


Fig. 13. Evolution des pannes des groupes motopompes n°3 et 4 refoulement au cours de l'année 2011

La figure 11 montre l'évolution de fonctionnement des groupes motopompes du point de captage au cours de l'année 2011.

De l'observation de la figure 11, nous constatons que les deux machines ont connu régulièrement des problèmes. La machine la plus indisponible était le groupe motopompe n°2. Les pannes décelées étaient : la fuite d'huile du palier, le défaut d'alignement, les vannes défectueuses. Les fuites d'huiles provoquent le dysfonctionnement du système tout entier et son immobilisation.

Du côté refoulement, la situation est donnée par les figures 12 et 13. Les groupes motopompes n°3 et 4 refoulements ont connu un fonctionnement instable par rapport aux groupes n°1 et 2 refoulements. Nous signalons qu'au mois d'octobre le groupe n°3 avait les nombres les plus élevés des pannes. Concernant les groupes n°1 et 2, nous constatons que la situation est pratiquement la même c'est – à – dire, les machines ont également connu un fonctionnement anormale.

7 DISCUSSION DES RÉSULTATS

Le maintien des équipements de l'usine pose problème. Bien qu'il soit difficile d'atteindre le niveau ou la position « Zéro panne » pour une machine, l'idéal est de faire tourner les équipements avec moins de défaillances possibles pendant une longue période de temps donnée.

Toutes les années de nos observations indiquent que les groupes motopompes ont régulièrement connu des problèmes qui ont engendré les périodes d'instabilités répétées empêchant la distribution normale de l'eau potable. Nous constatons que les nombres de défaillances augmentent au fil du temps dans les différents composants des groupes motopompes. Nous illustrons ce constat en citant quelques cas :

- grillage de l'arbre d'entraînement ;
- roulement casées ;
- problème d'alignement ;
- vibration excessif du moteur électrique ;
- fuites aux joints d'étanchéité de l'arbre ;
- débits insuffisants ;
- etc...

Dans les principes industriels, il est connu que les défaillances diminuent la durée de vie d'un matériel. Cette durée la vie est fonction des paramètres suivants :

- la fréquence de rotation ;
- la pression d'utilisation ;
- la quantité du fluide (le respect de la viscosité) ;
- l'entraînement (alignement du moteur).

C'est pourquoi face à des défaillances répétitives, les responsables chargés de la maintenance doivent réfléchir sur la recherche des voies et moyens d'augmenter la disponibilité des machines en appliquant de bonnes stratégies de maintenance.

En observant les différents résultats obtenus, nous constatons que le taux de défaillance des machines au cours de la période de notre observation est presque constant. Cela signifie que les machines ont atteint la phase de maturité qui est caractérisée par la dégradation progressive du matériel. Pendant cette phase de maturité, la politique de maintenance

Appropriée et efficace est la maintenance systématique et conditionnelle. Celle-ci est caractérisée par des interventions anticipées avant l'apparition des anomalies et pannes.

Donc la politique de « **maintenance systématique et conditionnelle associé à la prise en compte de l'impact des stress sur la fiabilité** » est celle que nous adoptons pour le maintien des groupes motopompes à l'usine de la LUKAYA.

Etant donnée cette hypothèse de l'environnement stressé dans lequel fonctionnent les groupes motopompes, l'usine doit adopter la politique de maintenance que nous venons de dégager, celle-ci renforcera la politique de maintenance préventive déjà existante et appliquée en son sein. L'usine obtiendra ce renforcement par :

- l'augmentation du nombre des travaux d'inspection ;
- le rapprochement le plus possible des dates des visites ;
- l'augmentation du personnel technique affecté à la maintenance des groupes motopompes.

8 CONCLUSION

Notre étude s'est focalisée sur le retour d'expérience pour étudier la fiabilité des machines et à la compréhension de l'influence de l'environnement. Les différents résultats obtenus nous ont permis de comprendre que les taux de défaillance des machines au cours de la période de notre observation est presque constant. Cela signifie que les machines ont atteint la phase de maturité qui est caractérisée par la dégradation progressive du matériel.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à la rédaction de cet article. Nous remercions particulièrement le professeur émérite NTAMPAKA BIRUGA Benjamin et l'assistant MBAYA ILUNGA Edouard. Leur disponibilité et leurs conseils ont été une aide précieuse.

REFERENCES

- [1] R. COMOLFT, Mécanique expérimentale des fluides, Tome II : Dynamique des fluides réels, Paris, 1994.
- [2] Josée Philippe PEREZ, Mécanique, fondamentales et applications, édition Dunod, Paris, 2001.
- [3] R. GREVESSE, Mécanique Appliquée, Kinshasa, 1986.
- [4] Saad BENNIR, Hydraulique et hydrologie, édition Québec, 2009.
- [5] SYN Mansour NIANG & souleymane DIOP, les pompes solaires : dimensionnement d'une station de pompage en zone maraichère, 2002
- [6] G. LEMASSON, les machines transformatrices d'énergie, tome 2, édition Delagrave, Paris, 1967.
- [7] Miguel ASUAJE, Méthodologie et optimisation dans la conception et l'analyse des performances des turbomachines à fluide incompressible, Ecole Nationale d'Arts et Métiers, thèse de doctorat, Paris, 2003.
- [8] Dictionnaire de la Langue Française, nouveau petit Robert, Mars 1995.
- [9] LANNOY A., Analyse quantitative et utilité du retour d'expériences pour la maintenance des matériels et la sécurité, ed. Eyrolles, 61, Bd St Germain, Paris 5^e, 1996.
- [10] LYONNET P, la maintenance : mathématiques et méthodes, 4^{ème} édition. Editions TEC et DOC, 2000.
- [11] LYONNET P, Ingénierie de la fiabilité. Edition TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 2006.

- [12] Nicolai R.P., Maintenance Models for systems subject to Measurable Deterioration. Thèse de Doctorat, Erasmus University Rotterdam, 2008.
- [13] DELOUX E., Politique de maintenance conditionnelle pour un système à dégradation continue soumis à un environnement stressant, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2008.
- [14] GLADE M., Modélisation des coûts de maintenance et de la fiabilité. Application à l'aéronautique, Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lyon, 2005
- [15] LANGLOIS R., Durée de vie, fiabilité, disponibilité des matériels, Ed. Dunod, Paris, 1988. Analysis, 7:85 – 103, 2000.
- [16] DASCAU D., Méthodes probabilistes pour la modélisation de la maintenance préventive. UT de Compiègne, 2001.
- [17] DEKKER R., Applications of maintenance optimization models; a review and analysis. Reliability Engineering and system safety, 51: 229 – 240, 1996.