

Analyse des caractéristiques de fiabilité des groupes Electropompes (GEP) au niveau de la station de pompage Beni Mansour Sonatrach

Karima Adel-Aissanou, Djamil Aïssani¹, Radouane Laggoune et Kaci Saaoui

Unité de Recherche LaMOS

Faculté des sciences Exactes, Université de Bejaia, Bejaia 06000, Algérie.

¹ lamos_bejaia@hotmail.com

Résumé- Cette étude, initiée par l'entreprise publique en hydrocarbure Sonatrach (Algérie), concerne l'évaluation de la fiabilité et de la disponibilité des groupes électropompes principaux de la station de pompage Béni Mansour (SBM). En effet, l'arrêt de cette station engendre une rupture sur l'oléoduc Haoud el Hamra - Béjaïa et donc l'arrêt de l'alimentation de la raffinerie d'Alger.

En raison de la structure des données, nous avons été amenés à utiliser les ordres stochastiques, ainsi que les test non paramétriques de fiabilité.

Mots clés: Oléoduc - station de pompage, fiabilité, ordres stochastiques, tests non paramétriques.

Abstrat- This study, initiated by the public company of hydrocarbons SONATRACH (Algeria), concerns the evaluation of the reliability and the availability of the main units of pump station Beni Mansour (SBM). Indeed, switch off this station causes a break on the oil pipeline Haoud el Hamra - Bejaia and stop supply the refinery of Algiers.

Due to the data structure, we have been led to use stochastic orders, as well as non-parametric test of reliability.

Keywords: Oil pipeline - pumping station, reliability, stochastic orders, nonparametric tests.

1. INTRODUCTION

Le pipe-line OB1 est le premier ouvrage de l'industrie pétrolière installé en Algérie (voir Figure 1). Dépendant aujourd'hui de l'entreprise publique Sonatrach, il relie le centre de stockage Haoud El Hamra et le terminal marin de Bejaia. Il se compose d'un terminal de départ SP1 (Haoud el Hamra), de trois stations principales (SP1 bis, SP2, SP3), et de quatre stations intermédiaires (SPA, SPB, SPC, SPD), et d'un terminal marin

dans la ville Béjaia.

Un nouvel oléoduc OB1 a été réalisé pour alimenter la raffinerie d'Alger à partir de la station de pompage de Beni-Mansour. Ce projet a été réalisé en prévision des travaux de réhabilitation et de modernisation de la raffinerie d'Alger. Cette réhabilitation vise à accroître la capacité de production de 35% et surtout la production des essences répondant à des spécifications identiques à celles en vigueur en Europe. Il s'avère

donc opportun d'analyser les performances des équipements de la station de pompage de Beni-Mansour, afin de s'assurer que les nouveaux GEP installés pourront répondre aux nouveaux objectifs de la compagnie (raffinerie d'Alger) à l'horizon 2016.

Le pipe-line Haoud El Hamra - Bejaia, a fait l'objet d'un cycle de recherche à caractère technique et scientifique. Dans [Meftali et al., 1999], l'objectif était de proposer des éléments de réponse à la question essentielle que se posait la DRGB-Sonatrach Béjaia en 1998: les infrastructures de l'époque étaient elles suffisantes pour honorer les contrats d'exportation prévus à l'horizon 2001? Une autre étude concernait la mise en place d'un nouveau mode d'entraînement des stations de pompage SP2 et SP3 de la DRG Béjaia [Demdoum et al., 2004]. Enfin, la mise au point de modèles d'optimisation adéquats permettant de réduire la quantité de contaminât lors du pompage par batch a été examinée [Oukaci et al., 1999] (On désigne par le terme contamination, le phénomène de mélange qui se produit au contact de deux cargaisons pétrolières différentes lors de leur transport sur une même canalisation. le produit résultant de contamination est appelé contaminât).

En ce qui concerne les études de fiabilité et de maintenance, citons: le calcul de la fiabilité et de la disponibilité des stations de pompage [Rabahi et al., 2000], l'état actuel des groupes électropompes de chargement au niveau du terminal Marin Sonatrach du port de Bejaia en évaluant leurs fiabilité et leurs disponibilités avait été élaboré [Sellami et al., 2003]. Enfin, une étude de planification et de réparation des opérations de maintenance sur les différents équipements des

stations de pompage de l'oléoduc HEH-Bejaia avait également été réalisée [Kennouche et al., 2008].

Dans ce travail, nous nous sommes focalisés sur l'analyse de la fiabilité et l'évaluation de la disponibilité des équipements de la station de pompage de Beni-Mansour. Nous rappelons que la station a été complètement rénové en 2006, ses équipements n'ont pas connu beaucoup de défaillances et par conséquent nous nous trouvons confrontés à un problème où les données sont très rares. Pour contourner cette difficulté, plusieurs approches peuvent être utilisées. Dans [Laggoune et al., 2010], les auteurs ont appliqué la technique de replication d'échantillons de Bootstrap qui permet l'obtention des distributions des estimateurs au lieu d'estimateurs ponctuels. L'introduction des tests pour les classes des distributions non paramétriques est également une autre voie pour contourner le problème de peu de données [Laggoune, 2009] et [Adjabi et Lagha, 2010].

Ce travail a donc pour objectif l'analyse de fiabilité et de disponibilité d'un système industriel dans un contexte de petites tailles des échantillons de données.

Dans la section 2, nous donnerons une présentation succincte de la station de pompage de Beni-Mansour, cadre de cette étude. La section 3 sera réservée à l'analyse de fiabilité des groupes électropompes par les tests non paramétriques de fiabilité. L'évaluation de la disponibilité de la station selon les deux modes de fonctionnement sera également donnée dans cette section et nous terminons par une conclusion.

2. PRESENTATION DE LA STATION DE POMPAGE BENI MANSOUR

La station de pompage de Beni Mansour est l'une des plus importantes à l'échelle nationale en matière de transport par canalisation de pétrole brut.

Réalisée au 27 juin 2006, elle est située dans la commune de Taourirt (Wilaya de Bouira) à 107 km au sud-ouest de la Wilaya de Bejaia. Cette station permet le transport du brut vers la raffinerie de Sidi Arcine (Alger) sur un trajet de 135 km.

La station est alimentée par un piquage au niveau de pipeline OB1 qui véhicule du pétrole brut du site Haoud El Hamra (HEM) vers le terminal pétrolier de Bejaia.

La station a pour objectifs:

- Le pompage de brut vers la raffinerie d'Alger.
- Assurer un débit continu avec une pression bien déterminée selon la demande des terminaux ou bien des exigences de la station.
- Contrôle du passage du condensat et du brut vers le terminal pétrolier de Bejaia.

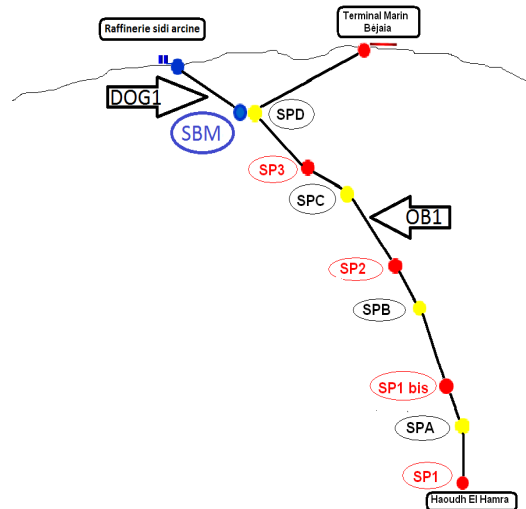


Figure 1: Pipelines OG1 - OB1 et Station de pompage Beni Mansour (SBM)

3. ANALYSE DE FIABILITE DES GEP

Le système sur lequel porte cette étude est composé de quatre (04) GEP qui fonctionnent en parallèle avec redondance passive et qui permettent l'expédition de pétrole brut vers la raffinerie d'Alger.

La collecte des données a été faite au niveau du service maintenance de la (SBM). Pour constituer nos échantillons, nous avons été contraints de confronter plusieurs sources, et ce, pour la période s'étalant de 27 juillet 2006 au 27 février 2013.

Ces sources sont constituées essentiellement:

- Des fiches d'intervention de l'équipe de maintenance qui comportent : les date des travaux, les travaux effectués (n^0 GEP, types des travaux), les durées des interventions, les pièces de rechanges utilisées, les natures des pannes.

- Des registres d'expédition de la station, qui comportent les informations mensuelles suivantes: n^0 GEP, heures de fonctionnement de chaque GEP.

3.1. Diagrammes de fiabilité du système en fonction des modes de fonctionnement

L'étude de la fiabilité se concentre sur les composants principaux (GEP), qui représente les blocs du diagramme de fiabilité du système. La structure globale du système est représentée dans les figures suivantes (2, 3, 4)

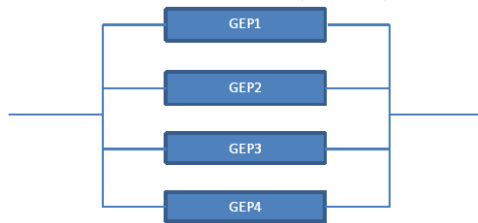


Figure 2: Diagramme de fiabilité du système
Selon la pression du pétrole brut à l'entrée de la station, on peut distinguer deux modes de fonctionnement.

Mode 1

Lorsque la pression du brut à l'entrée de la station ne dépasse pas 34 bar, alors notre système fonctionne avec deux GEP et les deux autres sont soumis au repos.

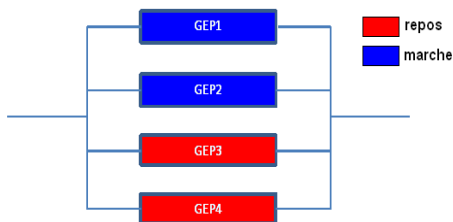


Figure 3: Diagramme de fiabilité du mode 1

Mode 2

Lorsque la pression de brut dépasse les 34 bar, alors notre système va fonctionner avec trois GEP et l'autre est soumis au repos.

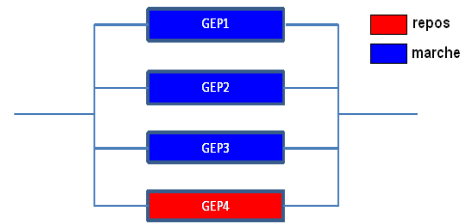


Figure 4: Diagramme de fiabilité du mode 2

3.2. Détermination du stade de vie de système

Comme la taille de l'échantillon obtenu à partir du GEP_i ($i = 1, \dots, 4$) est très petite, on ne peut pas appliquer les tests paramétriques. On fait alors appel aux tests non paramétriques de fiabilité.

Les tests non paramétriques permettent de tester H_0 : " F appartient à C " contre H_1 : " F n'appartient pas à C ".

Où C est une classe de distribution paramétrique (loi exponentielle, loi de Weibull, ...).

et F est la distribution d'une certaine variable aléatoire X.

Application des tests non paramétriques pour les GEP

Du fait que l'un des inconvénients des tests non paramétriques réside dans la difficulté à trouver leurs tables de valeurs significatives, alors on a pris en considération les tests ou leurs table de décision est à notre portée. Pour cela, on a appliqué le test de Fisher pour l'alternative IFR (DFR) pour (Increasing Failure Rate (Decreasing Failure Rate)) , le test T_n et le test de la TTT-transformée pour l'alternative IFRA pour

(Increasing Failure Rate in Average) , ainsi que le test D_n de Koul pour les deux alternatives NBU (Not Better than Used) et NBUE (Not Better than Used in Expectation).

Tests pour l'alternative IFR(DFR)

Pour tester l'alternative IFR, on a utilisé le test de Fisher.

Rappelons que ce test oppose:

H_0 :” F est exponentielle ” contre H_1 : ”F est IFR(DFR) mais pas exponentielle”.

La statistique de ce test est donnée par:

$$Q(r_1, r_2) = \left(\frac{1}{r_1} \sum_{i=1}^{r_1} S_i\right) / \left(\frac{1}{r_2} \sum_{i=1}^{r_2} S_i\right) = \frac{1}{r_1} S_{t_{r_1}} / \frac{1}{r_2} S_{t_{r_2}}. \quad (1)$$

Les résultats du test de Fisher sont donnés dans le tableau suivant:

GEP	GEP1	GEP2	GEP3	GEP4
(n_1, n_2)	(1,2)	(1,2)	(2,3)	(1,2)
$Q(n_1, n_2)$	1,72	1,81	1,5	1,78
$f(\alpha/2)$	38,5	38,5	16,0	38,5
F_i	DFR	DFR	DFR	DFR

Table 1: Valeurs du test de Fisher et les distributions F_i par GEP

Il ressort de ce test, et pour un risque $\alpha = 0,05$, que les valeurs lues sur la table statistique de Fisher sont supérieures aux valeurs calculées de la statistique $Q(n_1, n_2)$. Donc, la décision à prendre est de rejeter l'hypothèse H_0 en faveur de l'alternative DFR pour tous les GEP pris en considération dans cette analyse.

On retiendra que la distribution de survie ($F_i, i = 1, \dots, 4$) pour tous les GEP, n'est pas exponentielle. Donc, ceci revient à dire que les F_i sont

DFR. Ce qui peut être expliqué par la jeunesse relative de ces équipements.

Tests pour l'alternative IFRA(DFRA)

Pour tester l'alternative IFRA, on commence par le test T_n puis par le test TTT-transformé.

Test T_n pour l'alternative IFRA(DFRA)

Rappelons que ce test oppose:

H_0 :” F est exponentielle ” contre H_1 :” F est IFRA, non exponentielle ”.

La statistique de ce test est donnée par:

$$R_y(x) = \frac{R(x+y)}{R(y)} \leq R(x), \quad \forall x \geq 0 \text{ et } \forall y \geq 0. \quad (2)$$

Les résultats du test T_n sont donnés dans le tableau suivant:

GEP	GEP1	GEP2	GEP3	GEP4
Val(T_n)	0,233	0,240	0,197	0,236
F_i	exp	exp	exp	exp

Table 2: Valeurs de la statistique T_n et les distributions F_i par GEP

Pour un risque α , les valeurs lues sur la table statistique sont supérieures aux valeurs calculées de T_n . Donc, la décision à prendre est de ne pas rejeter l'hypothèse H_0 pour tous les GEP pris en considération dans cette analyse.

On retiendra que la distribution de survie ($F_i, i = 1, \dots, 4$) pour tous les GEP, est exponentielle. Donc, ceci revient à dire que les F_i ne sont pas IFRA.

Test de la TTT-transformée pour l'alternative IFRA(DFRA)

Rappelons que ce test oppose:

H_0 :” F est exponentielle ” contre H_1 :” F est IFRA (DFRA), non exponentielle ”.

Les résultats du ce test sont données dans le tableau suivant:

GEP	GEP1	GEP2	GEP3	GEP4
B	-0,394	-0,361	-10	-0,368
F_i	DFRA	DFRA	DFRA	DFRA

Table 3: Valeurs de la TTT-transformée et les distributions F_i par GEP

Les valeurs calculées de la statistique B sont inférieures à 0, ceci signifie que la distribution de survie $F_i(i = \overline{1,4})$ de tous les GEP, est DFRA.

Tests pour l'alternative NBU

Pour la distribution NBU, on a eu recours au test D_n de Koul.

A titre de rappel, la statistique du test est donnée par:

$$D_n = \frac{1}{n^2} \min_{1 \leq i \leq j \leq n} [nS_{ij} - (n-1)(n-j)] = \frac{1}{n^2} \min_{1 \leq i \leq j \leq n} T_{ij}. \quad (3)$$

Ce test oppose:

H_0 :”F est exp(.”) contre H_1 :”F est NBU, pas exp(.”)

Pour ce test, on calcule la valeur de la statistique (n^2D_n) pour les GEP, car c'est la statistique qui a été tabulée. Ces valeurs sont données dans le tableau suivant:

GEP	GEP1	GEP2	GEP3	GEP4
(n^2D_n)	-4	-4	-16	-4
F_i	exp	exp	exp	exp

Table 4: Valeur de la statistique (n^2D_n) et les distributions F_i pour $\alpha = 0, 10$

Après avoir calculé la statistique (n^2D_n)pour les différents GEP, il ressort de ce test de ne pas rejeter l'hypothèse H_0 pour tous les GEP, et pour un risque $\alpha = 0, 10$, car les valeurs lues sur la table statistique de D_n sont supérieures à la valeur calculée de n^2D_n . Alors, la distributions de survie $F_i(i = \overline{1,4})$ de tous les GEP, est exponentielle.

Tests pour l'alternative NBUE:

Pour les tests de la classification NBUE relativement aux distributions $F_i(i = 1, 2, 4)$. Les tables statistiques qui permettent de prendre une décision à l'issue d'un tel test ne sont pas à notre disposition (c'est-à-dire ne sont pas disponibles). Pour ce faire, on reprend le test D_n de Koul pour un risque plus élevé ($\alpha = 0, 20$). Les résultats obtenus à partir de ce test sont donnés dans le tableau suivant:

GEP	GEP1	GEP2	GEP3	GEP4
(n^2D_n)	-4	-4	-16	-4
F_i	exp	exp	exp	exp

Table 5: Valeurs de la statistique (n^2D_n) et les distributions F_i pour $\alpha = 0, 20$

Il ressort de ce test qu'il ne faut pas rejeter

H_0 pour tous les GEP, et pour un risque $\alpha = 0, 20$, car les valeurs lues sur la table statistique de D_n sont supérieures à la valeur calculée de $n^2 D_n$. La distribution de survie $F_i(i = \overline{1, 4})$ de tous les GEP, est exponentielle.

Interprétation des résultats

Il ressort du test de Fisher pour l'alternative IFR (DFR) que " le taux de défaillance " est décroissant pour tous les GEP. Par conséquent, on pourra affirmer que tous les GEP sont à leur stade de jeunesse.

A l'issue du test pour l'alternative IFRA (DFRA), l'application du test T_n pour un $\alpha = 0, 05$, nous a conduit à rejeter l'hypothèse H_1 pour les GEP, donc le taux de défaillance n'est pas croissant. C'est pour cela, qu'on a eu recours au test de la TTT-transformée, qui confirme les résultats du test de Fisher, c'est-à-dire que le taux de défaillance est décroissant, ce qui veut dire que tous les GEP sont à leur stade de jeunesse.

Cependant, en s'inspirant toujours de la classification des distributions non paramétriques, on a testé la phase de vie des GEP, en se basant sur l'alternative NBU (NWU). Il s'avère que la propriété NBU fait partie des modèles de vieillissement de l'analyse de survie. Pour un $\alpha = 0, 10$, le test de D_n accepte l'hypothèse H_0 pour tous les GEP. La distribution de survie ($F_i, i = 1, \dots, 4$) pour tous les GEP, est exponentielle. Ce qui est synonyme d'un taux de défaillance sensiblement constant, c'est-à-dire que les défaillances surviennent de manière aléatoire. En conclusion, on peut dire que ces équipements sont à la fin de leur phase de jeunesse et au début de leur phase de maturité.

3.3. La fiabilité du système

L'étude de la phase de vie du système consiste en l'étude des phases de vie de ses deux modes de fonctionnement. D'après l'étude précédente des GEP, on conclut que:

Les deux modes de fonctionnement sont dans la phase de jeunesse. Dans ce cas, le taux de défaillance est décroissant.

Si on compare les deux modes de fonctionnement, on dira que le mode 1 est plus fiable par rapport au mode 2 du fait que:

Dans le premier mode, lorsque deux défaillances surviennent en même temps, ça ne causera pas l'arrêt du système du fait que ce dernier fonctionne avec une redondance passive (2/4) (c'est-à-dire que chaque GEP en marche a un GEP de réserve).

Par contre, dans le deuxième mode, si au moins deux défaillances au plus surviennent, alors le système ne fonctionne pas du fait que ce dernier fonctionne avec une redondance passive (3/4) (il y a un seul GEP de réserve).

3.4. Etude de la disponibilité des GEP

Pour un service de maintenance, il est intéressant de connaître la disponibilité des équipements et les paramètres qui peuvent la modifier. Cette information permet de mettre en place une meilleure politique de gestion (stock de pièce de rechange, nombre de réparateurs, organisation du service maintenance).

D'après le théorème limite du renouvellement, la disponibilité D d'un matériel est donnée par:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = D = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad (4)$$

Si $MDT \approx MTTR$ et $MUT \approx MTBF$, on aura:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (5)$$

Où

MUT désigne (Mean Up Time), MDT désigne (Mean Down Time), MTBF désigne (Mean Time Between Failure) et MTTR désigne (Mean Time TO Repair).

Evaluation de la disponibilité des GEP

Après avoir ajusté les temps de bon fonctionnement, les temps de réparation des GEP, on peut alors évaluer la disponibilité de ces derniers, et par la suite celle du mode de fonctionnement du système.

Le tableau suivant représente les taux de disponibilité des GEP:

GEP	MTBF	MTTR	Taux de disponibilité
GEP1	17456	64	0,996347
GEP2	17432,67	88	0,9949774
GEP3	10440,2	72	0,9931508
GEP4	17623	60	0,9966069

Table 6: Taux de disponibilité des GEP

3.5. Disponibilité des modes de fonctionnement du système

Le taux de disponibilité de chaque mode est obtenu en combinant les taux de disponibilité des éléments du système. Ils sont calculés de la manière suivante:

Pour le mode 1:

$$D_{mode1} = (Disponibilité\ du\ mode1) = [D_{GEP1} \times D_{GEP2} \times D_{GEP3} \times D_{GEP4}] + [(1 - D_{GEP1}) \times D_{GEP2} \times D_{GEP3} \times D_{GEP4}] + [D_{GEP1} \times (1 - D_{GEP2}) \times D_{GEP3} \times D_{GEP4}] + [D_{GEP1} \times D_{GEP2} \times (1 - D_{GEP3}) \times D_{GEP4}] + [D_{GEP1} \times D_{GEP2} \times D_{GEP3} \times (1 - D_{GEP4})] + [(1 - D_{GEP1}) \times$$

$$(1 - D_{GEP2}) \times D_{GEP3} \times D_{GEP4}] + [(1 - D_{GEP1}) \times D_{GEP2} \times (1 - D_{GEP3}) \times D_{GEP4}] + [(1 - D_{GEP1}) \times D_{GEP2} \times D_{GEP3} \times (1 - D_{GEP4})] + [D_{GEP1} \times (1 - D_{GEP2}) \times (1 - D_{GEP3}) \times D_{GEP4}] + [D_{GEP1} \times (1 - D_{GEP2}) \times D_{GEP3} \times (1 - D_{GEP4})] + [D_{GEP1} \times D_{GEP2} \times (1 - D_{GEP3}) \times (1 - D_{GEP4})]$$

Pour le mode 2:

$$D_{mode2} = (Disponibilité\ du\ mode2) = [D_{GEP1} \times D_{GEP2} \times D_{GEP3} \times D_{GEP4}] + [(1 - D_{GEP1}) \times D_{GEP2} \times D_{GEP3} \times D_{GEP4}] + [D_{GEP1} \times (1 - D_{GEP2}) \times D_{GEP3} \times D_{GEP4}] + [D_{GEP1} \times D_{GEP2} \times (1 - D_{GEP3}) \times D_{GEP4}] + [D_{GEP1} \times D_{GEP2} \times D_{GEP3} \times (1 - D_{GEP4})]$$

Le tableau suivant résume le taux de disponibilité de chaque mode:

	Mode1	Mode2
Taux de disponibilité	0,9999099	0,9897846

Table 7: Taux de disponibilité des modes de fonctionnement

3.6. Disponibilité du système

Le taux de disponibilité du système est déduit par ces deux modes de fonctionnement, il se calcule comme suit:

$$\begin{aligned} D_{Système} &= D_{mode1} \times D_{mode2} + D_{mode1} \times (1 - D_{mode2}) \\ &\quad + (1 - D_{mode1}) \times D_{mode2} \\ &= 0,9896954 + 0,00000892 + 0,0102145 \\ &= 1. \end{aligned}$$

4. CONCLUSION

L'analyse de fiabilité (à travers l'application des tests non paramétriques de fiabilité), a révélé

un taux de défaillance décroissant (amélioration de la fiabilité avec le temps) ou un taux de défaillance constant (phase de maturité de la courbe en baignoire). Ceci confirme la réalité vu que les systèmes ont été mis en service depuis environ six années.

L'étude de la disponibilité a révélé que le système enregistre un parfait taux de disponibilité (proche de 1), cela peut être expliqué par la relative jeunesse des équipements mais surtout par la redondance adoptée pour ce système.

Par ailleurs, les résultats de l'analyse de fiabilité ne nous autorisent pas à envisager une politique de maintenance préventive. En effet, lorsque le taux de défaillance est constant, les défaillances surviennent d'une manière aléatoire et indépendamment du temps.

En fin, nous pouvons conclure que les performances de la station de pompage de Beni-Mansour la prédispose à jouer pleinement son rôle dans l'augmentation de la capacité de production de la raffinerie d'Alger.

REFERENCES

- Adjabi S., Lagha K., (2010) Evaluation de performances des systèmes d'attente fiables. 42^{ème} journées de statistique, Marseille, France.
- Demdoum S., Kheireddine R., Aïssani D., Lekadir O., (2004) Etude Technico-économique et Aide à la Décision pour la Reconversion des Stations de Pompage SP2 - SP3 Sonatrach. *Rapport interne, Département Informatique et Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa*. Algérie.
- Kennouche A., Mammasse N., Aïssani D. et Saigh S.,(2008) Analyse du Retour d'Expérience pour la Planification de la Maintenance. Cas de l'Oléoduc OB1 HEH - Béjaïa, *Actes des 8^e Journées Internationales Scientifiques et Techniques de Sonatrach JST'2008*, Hôtel Hilton, Alger, Algérie.
- Meftali S., Haddad S., Aïssani D., Adjabi S.,(1999) Optimization of the Hydrocarbon storage park at a Marine Terminal Level, *Proceedings of the 5th Internationale Conference Integrating Technology and Human Decisions : Global Bridges into the 21st Century*, Athens, Greece, July 1999, pp. 1850 - 1852.
- Oukaci L., Rabahi A.,(1999) Optimisation de la chaîne de transport par batch du brut et du condensât, *Rapport interne, Département Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa*. Algérie.
- Rabahi A., Mendil S., Aïssani D., Adjabi S., (2000) Reliability Analysis of Hydrocarbon Transshipment Optimization for the Algerian Pipelines. In the Book " *Mathematical Methods in Reliability* ", Proceedings of the International Conference MMR'2000, Bordeaux, France, 1, pp. 35 - 38.
- Sellami S., Taggueb O., (2003) Planification de la Maintenance Préventive au niveau de la DRGB Sonatrach, *Rapport Interne, Département : Informatique et Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa*. Algérie.
- Laggoune R., Chateaufort A., Aïssani D., (2010) Impact of few failure data on the opportunistic replacement policy for multi-component systems, *Reliability Engineering and System Safety*, 95, pp. 108-119.
- Laggoune R., (2009) Optimisation de la maintenance par la fiabilité opérationnelle des systèmes mécaniques multi-coposants avec application industrielle. *Thèse de doctorat, Université de Béjaïa*, Algérie.