

## **Etude de la fiabilité et de la disponibilité des équipements au niveau de l'entreprise MAC-SOUM**

Chahboune S., Hammou R., Anzi A. et Aïssani D.

lamos\_bejaia@hotmail.com

**Résumé** Ce travail consiste à étudier la disponibilité des équipements d'un atelier de montage dans une entreprise de production et commercialisation de chaussures. Pour cela, nous étudions leur fiabilité et leur maintenabilité. Cette étude est basée sur un traitement statistique des données collectées et nécessite l'application de modèles d'ajustement.

**Mots clés** : Entreprise Mac Soum, Equipements, Fiabilité, Disponibilité.

### **2.1 Introduction**

MAC-SOUM (Manufacture de chaussures de la Soummam) d'Akbou, une société par action issue de la filiation de l'ex-EMAC, figure parmi les rares entités économiques du secteur public à maintenir l'activité et à produire de la valeur ajoutée en Algérie. La politique globale de l'entreprise est à prédominance productive. Tous ces efforts sont concentrés sur la production sans donner suffisamment d'importance à la maintenance. Ce qui explique l'absence dans cette entreprise d'une politique de maintenance performante.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à l'atelier de montage B, qui est d'une importance majeure pour l'entreprise. Son rôle fondamental consiste au montage de deux types de chaussures de sécurité (montage par injection et good year).

Notre travail consiste à calculer en premier lieu la fiabilité, puis la maintenabilité afin de déterminer la disponibilité des équipements de l'atelier de montage B. Un traitement statistique des données du retour d'expérience des équipements, issus de la zone A de la courbe de Pareto, permet d'évaluer la fiabilité et la maintenabilité de ces derniers. Il s'agit de choisir les modèles d'ajustements, puis de les valider en appliquant les tests adéquats. Ce traitement a pour objectif dans un premier temps, de connaître le comportement des équipements issus de la zone A de la courbe de Pareto qui sont responsables de l'immobilisation de l'atelier de montage B, les équipements identifiés constituent les éléments de notre système.

### **2.2 Collecte des données et Choix de la chaîne à étudier**

L'analyse de fiabilité en exploitation consiste à recueillir des données de défaillance et à les exploiter de manière statistique afin de connaître les indices de fiabilité. La présente étude est basée sur les données qui s'étalent de 02/01/2010 au 30/04/2016. La source essentielle de ces données est les " bons de travail " qui donnent un résumé sur les défaillances (date et heure d'arrêt, heure début et fin de réparation, le temps d'intervention...). En ce qui concerne la chaîne à étudier, en consultant le personnel de l'entreprise, notre choix a porté sur la chaîne de montage

B qui comprend environ 150 machines fonctionnelles. Cette chaîne est très importante en termes de la nécessité de produits fabriqués et des temps d'immobilisation qu'elle cause.

Type	désignation
401 S – 04	Convoyeur de montage
413-02	M/C à afficher les premières
510-03	Presse à souder les semelles
538-04	M/C à encoller les semelles
756 S-05	M/C à encoller les semelles
756 - 06	M/C à encoller les semelles
409-03	M/C à galber les contreforts
G79-06	M/C à carder et verrier les tiges
G79-05	M/C à carder et verrier les tiges
566-06	Machine pour déformer
K58-08	M/C à monter les emboîtages
K78-01	M/C à monter les bouts
K78-07	M/C à monter les bouts
427 – 01	M/C à monter les bouts
427-08	M/C à monter les bouts
MF80-04	M/C à monter les flancs
MF80-06	M/C à monter les flancs
522-02	M/C à réactiver au flash
489-02	M/C à réactiver et galber
Vp35-08	M/C injection direct sur tiges
Vp35-03	M/C injection direct sur tiges
03030/P4-01	Machine de piquage GOOD-YEAR
03030/P4-02	Machine de piquage GOOD-YEAR.
RIB 14-02	Machine rotative pour rabattre la trépointe
SILPAR-STNOVA-01	Machine à fraiser les semelles et tiges
SILPAR-STNOVA-02	Machine à fraiser les semelles et tiges

TABLE 2.1. Inventaire des équipements de la chaîne à étudier

### 2.2.1 Schéma de la chaîne de montage B

La figure 6.1 représente les différents équipements de la chaîne de montage B ainsi que leurs positions dans le processus de montage.

### 2.2.2 Sélection des équipements à étudier

Vu le nombre important des machines qui composent la chaîne B, l'étude statistique de chacune d'elles se révélera très longue. Il convient alors de cibler seulement les équipements critiques. Pour orienter notre étude, on s'est basé sur le critère " temps d'immobilisation ". A cet effet, on a effectué une analyse ABC (Pareto) pour déterminer la classe d'équipements qui, pendant une année (du 01/04/2015 au 30/04/2016), a engendré le temps d'immobilisation le plus élevé. Les résultats de l'analyse ABC nous ont permis d'identifier les équipements qui, avec 37.6% de pannes, causent plus de 60% des temps cumulés d'immobilisation (voir tableau 5.4). Ces équipements doivent donc faire l'objet d'un traitement particulier.

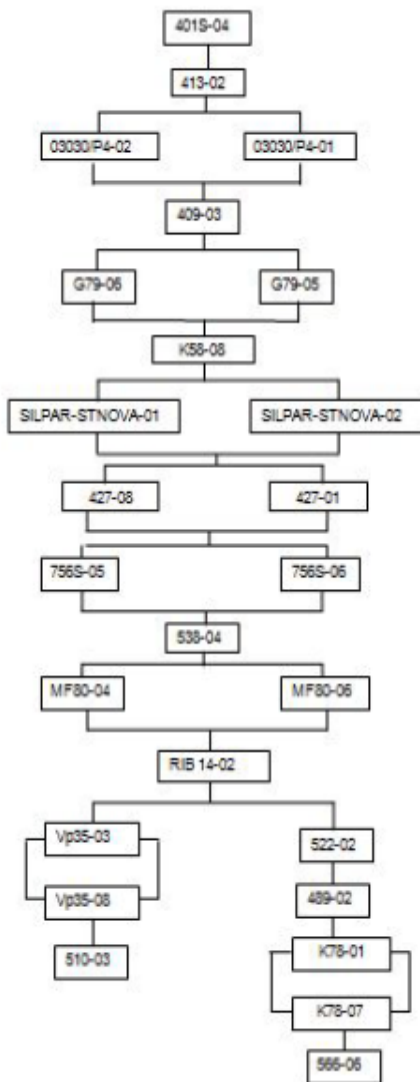


FIGURE 2.1. Schéma des équipements

Type	désignation
MF80-04	M/C à monter les flancs
MF80-06	M/C à monter les flancs
K78-01	M/C à monter les bouts
K78-07	M/C à monter les bouts
489 – 02	M/C à réactiver et galber

TABLE 2.2. Equipements à étudier

## 2.3 Modélisation paramétrique de la fiabilité des équipements

Il est naturel de chercher à ajuster un échantillon aléatoire par des distributions théoriques, vu les significations et les interprétations apportées par ces distributions. Pour notre étude, cette démarche commence par une hypothèse que la variable aléatoire  $X$  " durée de vie " obéit à un modèle d'usage courant, celui de Weibull, qui permet de prendre compte des différentes formes de la fonction taux de défaillance ; ou une distribution exponentielle qui est utilisée à chaque fois qu'il s'agit de modéliser une durée de vie associée à un processus de défaillance sans mémoire, c'est-à-dire, un processus dans lequel le nombre de défaillance sur un intervalle du temps est indépendant du choix de l'intervalle.

L'estimation des paramètres de chaque modèle a été réalisée par la méthode de maximum de vraisemblance à l'aide du logiciel de statistique R. R est à la fois un logiciel et un langage qui permet d'appliquer les techniques d'ajustement avec les lois paramétriques. Il permet de valider les modèles obtenus grâce aux tests classiques d'adéquation comme le test de " Kolmogorov-Smirnov ". Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 6.1, où

$n$  : Taille de l'échantillon.

$\beta$  : Paramètre de forme de la loi de Weibull.

$\eta$  : Paramètre d'échelle de la loi de Weibull.

$D_c$  : Statistique empirique du test de Kolmogorov-Smirnov.

$D_{(n,0.05)}$  : Statistique tabulée de test Kolmogorov-Smirnov avec un seuil de signification égal à 0.05

Il convient de noter que la variable à ajuster est le temps de bon fonctionnement (TBF) et que les données prises sont complètes (non censurées) car on dispose d'un nombre suffisant de données.

Equip	n	loi ajustée	Paramètres	$D_c$	$D_{(n,0.05)}$
MF80-06	120	Weibull	$\beta = 1.505, \eta = 9304$	0.052	0.1241
		Exponentielle	$\lambda = 0.00012$	0.140	
K78-07	134	Weibull	$\beta = 1.875, \eta = 8461$	0.0566	0.1174
		Exponentielle	$\lambda = 0.000134$	0.2135	
489 - 02	137	Weibull	$\beta = 1.796, \eta = 8323$	0.0634	0.1161
		Exponentielle	$\lambda = 0.000136$	0.1802	
K78-01	148	Weibull	$\beta = 1.716, \eta = 7615$	0.063	0.1117
		Exponentielle	$\lambda = 0.000147$	0.2057	
MF80-04	140	Weibull	$\beta = 1.850, \eta = 8134$	0.0541	0.1149
		Exponentielle	$\lambda = 0.000139$	0.3297	

TABLE 2.3. Résultats de la modélisation paramétrique de la fonction de fiabilité

## 2.4 Modélisation non paramétrique

Afin de confirmer les résultats obtenus par la méthode paramétrique et à cause du fait que pour tous les équipements le paramètre de forme du modèle de Weibull est supérieur à 1 et que le modèle exponentiel n'est pas validé, on utilise l'analyse non paramétrique, en particulier le test graphique basé sur la TTT-statistique, qui donne des propriétés qualitatives, à partir desquelles on se prononcera sur l'appartenance de la distribution  $F$  à une classe d'âge (IFR, DFR).

Les graphiques des figures 2.2 et 2.3 illustrent l'allure du nuage des points  $\left(\frac{i}{r}, \frac{S(t_i)}{S(t_R)}\right)$  pour les différents équipements et les résultats du test graphique sont résumés dans le tableau 2.4

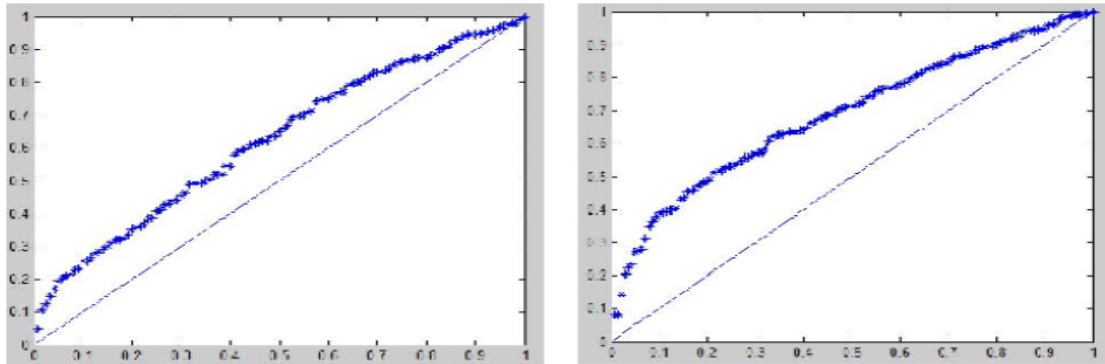


FIGURE 2.2. Test graphique pour MF80-04, MF80-06

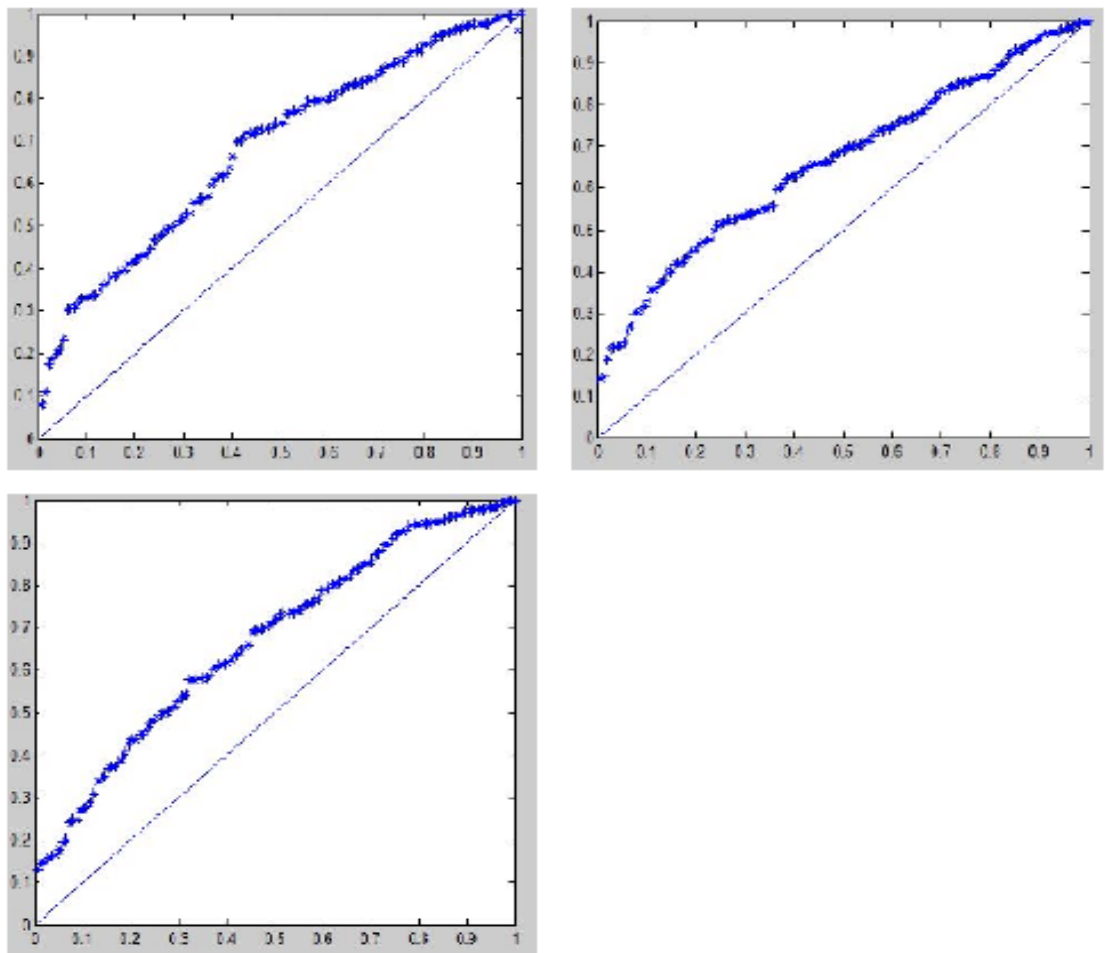


FIGURE 2.3. Test graphique pour K78-01, K78-07 et 489-02

Equip	n	Allure de la courbe de tendance	modèle	taux de défaillance
MF80-04	140	Concave	IFR	Croissant
MF80-06	120	Concave	IFR	Croissant
K78-01	148	Concave	IFR	Croissant
K78-07	134	Concave	IFR	Croissant
489-02	137	Concave	IFR	Croissant

TABLE 2.4. Résultats du test graphique

## 2.5 Comparaison des résultats

D'après les résultats obtenus, on remarque l'homogénéité (concordance) entre les résultats obtenus de la modélisation paramétrique et ceux non paramétrique du fait qu'ils se rejoignent dans la description du type de défaillance.

Pour les équipements MF80-04, MF80-06, K78-01, K78-07 et 489-02, le paramètre de forme  $\beta$  du modèle de Weibull est supérieur à 1. Son taux de défaillance est donc croissant, ce qui correspond à la loi IFR trouvée par les tests graphiques.

## 2.6 Indices de fiabilité

On peut comparer la fiabilité des équipements en comparant les moyennes du temps de bon fonctionnement (MUT). On dira qu'un système est plus fiable qu'un autre si son MUT est plus grand.

Le tableau 2.5 présente le classement décroissant des équipements par leur MUT.

Equip	Paramètre du Weibull	$MUT_w(mn)$
MF80-06	$\beta = 1.505, \eta = 9304$	8382.90
K78-07	$\beta = 1.870, \eta = 8461$	7504.9
489-02	$\beta = 1.796, \eta = 8323$	7390.82
MF80-04	$\beta = 1.850, \eta = 8134$	7222.99
K78-01	$\beta = 1.716, \eta = 7615$	4437.64

TABLE 2.5. Classement des équipements

Les courbe de fiabilité et le taux de défaillance sont représentés dans les figures 2.4 et 2.5 respectivement.

## 2.7 Modélisation de la maintenabilité

On présente dans ce paragraphe la modélisation des temps de réparation. On a choisi comme loi d'ajustement celle de log-normale et Gamma. Elles sont généralement représentative de la

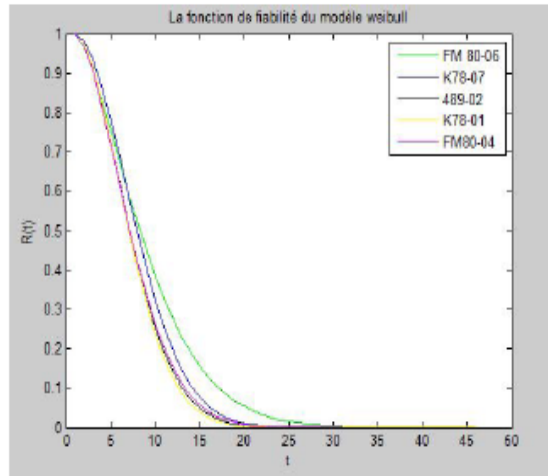


FIGURE 2.4. Courbe de fiabilité

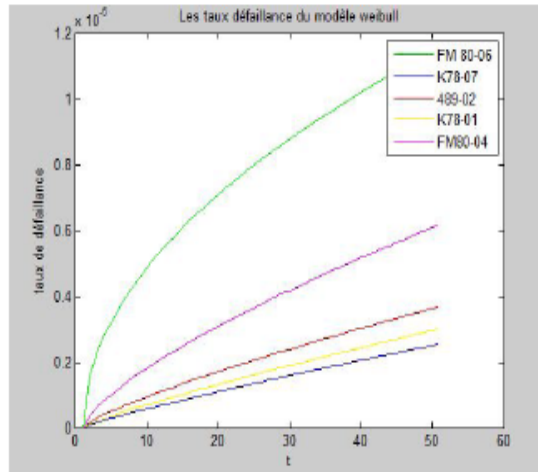


FIGURE 2.5. Taux de défaillance

durée de réparation. Les résultats sont reportés dans le tableau 6.5 par un classement décroissant du MTTR par rapport à la loi Gamma

Equip	n	loi ajustée	paramètres	$D_{ks}$	$d_{m,0.05}$	MTTR
489 – 02	138	Log-normale	$m = 4.0894, \sigma = 0.497$	0.0729	0.1157	67.55
		Gamma	$\alpha = 0.91, \beta = 75.74$	0.107		68.92
MF80-04	141	Log-normale	$m = 3.792, \sigma = 0.483$	0.08	0.1145	49.83
		Gamma	$\alpha = 0.87, \beta = 58.28$	0.0936		50.70
MF80-06	121	Log-normale	$m = 3.730, \sigma = 0.416$	0.076	0.123	45.33
		Gamma	$\alpha = 0.59, \beta = 76.9$	0.103		45.37
K78-01	149	Log-normale	$m = 3.693, \sigma = 0.439$	0.0935	0.1114	44.22
		Gamma	$\alpha = 0.63, \beta = 71.43$	0.097		45
K78-07	135	Gamma	$\alpha = 0.66, \beta = 67.9$	0.094	0.1170	44.82

TABLE 2.6. Résultats de la modélisation des temps de réparation

Ce tableau montre que : 489-02, MF80-04 et MF80-06 ont un temps de réparation important par rapport aux autres équipements.

## 2.8 Modélisation des temps d'immobilisation

Les modèles ajustant les temps d'immobilisation des différents équipements ont été validés par le test de Kolmogrov-Smirnov. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.7

Equip	n	loi ajustée	paramètres	$D_{ks}$	$d_{n,0.05}$	MDT
K78-07	135	Gamma	$\beta = 22.89, \alpha = 0.215$	0.107	0.117	106.46
MF80-04	141	Log-normale	$m = 4.418, \sigma = 0.544$	.0771	0.1145	96.15
489 - 02	138	Log-normale	$m = 4.434, \sigma = 0.452$	0.101	0.1157	93.33
K78-01	149	Log-normale	$m = 4.305, \sigma = 0.424$	0.0780	0.1114	81.03
MF80-06	121	Log-normale	$m = 4.187, \sigma = 0.358$	0.113	0.1236	70.18

TABLE 2.7. Temps d'immobilisation

## 2.9 Evaluation de la disponibilité

Dans le but de mettre en évidence l'impact que peuvent avoir les temps annexes de réparation sur l'indisponibilité des équipements, on a adopté les étapes suivantes :

- On calcule, dans un premier temps, la disponibilité réelle  $D_r$  et celle souhaité  $D_s$  ;
- On calcule, dans un deuxième temps, l'indisponibilité ( $D_s - D_r$ ) entraînée par les temps d'attente de réparation ;
- Ensuite on évalue le taux d'indisponibilité causé par les temps annexes de réparation.

Le tableau 6.6 montre l'influence des temps annexes de réparation sur la disponibilité des équipements.

Equip	MUT	MTTR	MDT	$D_r$	$D_{ps}$	$D_s - D_r$
MF80-06	8382.9	45.37	70.18	0.991	0.994	0.003
K78-07	7504.9	44.82	106.46	0.986	0.994	0.008
489 - 02	7390.82	68.92	93.33	0.987	0.990	0.004
K78-01	4437.64	45	81.03	0.982	0.989	0.007
MF80-04	7222.99	50.70	96.15	0.986	0.993	0.007

TABLE 2.8. Modélisation de la disponibilité

On remarque que la disponibilité réelle est faible devant la disponibilité souhaitée. L'indisponibilité liée au temps annexe de réparation représente moins de la moitié des temps d'immobilisation à part pour les équipements K78-07 et MF80-04. Ainsi, pour l'équipement K78-07 le taux d'indisponibilité dû au temps d'annexes de réparation est de 0.8% (environ 2H par mois). Soit un taux de 57% des temps d'immobilisation. Pour l'équipement MF80-04 le taux d'indisponibilité dû au temps d'annexes de réparation est de 0.7% (environ 1.5H par mois). Soit un taux de 50% des temps d'immobilisation.



On conclut que les temps d'attente de réparation représentent en moyenne 3% de la capacité programmée des équipements. Il font perdre, en effet, à l'entreprise plus de 3% de son chiffre d'affaire.

Une analyse de la situation est donc indispensable, en particulier pour les équipements K78-07 et MF80-04, afin de réduire ces temps d'immobilisation. Il convient aussi de réviser la politique de gestion des stocks et de mettre en place les moyens adéquats pour une meilleure prise en charge des réparations.

Après avoir étudié la fiabilité et la maintenabilité des équipements de la chaîne de montage B, nous allons étudier dans ce chapitre sa disponibilité.

Cette étude passe par la modélisation du système sous forme d'une chaîne de Markov.

### 2.9.1 Modélisation

La chaîne de montage B se compose de 26 machines (voir la figure 6.1) et l'analyse ABC (Pareto) nous a donné 5 machines parmi 26 machines (voir le tableau 6.1).

On a schématisé les cinq machines par un sous système (voir la figure 6.3) qui se compose de trois phases :

- Phase A : elle contient les deux équipements MF80-04 et MF80-06 posés en parallèle ;
- Phase B : elle se dispose de l'équipement 489-02 ;
- Phase C : elle contient les deux équipements K78-01 et K 78 – 07 posés en parallèle.

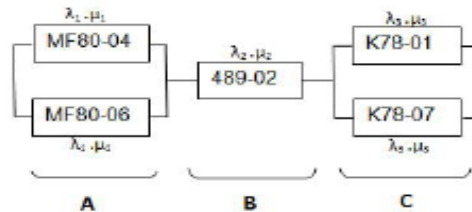


FIGURE 2.6. Schéma du sous système

Dans le tableau 6.7, on a synthétisé les lois de pannes et de réparation des équipements

Equip	n	Fiabilité		Maintenabilité		
		loi ajustée	paramètres	n	loi ajustée	paramètres
489 – 02	137	Weibull	$\beta = 1.796, \eta = 8323$	138	Gamma	$\alpha = 0.91, \beta = 75.74$
K78-07	134	Weibull	$\beta = 1.875, \eta = 8461$	135	Gamma	$\alpha = 0.66, \beta = 67.9$
MF80-04	140	Weibull	$\beta = 1.850, \eta = 8134$	141	Gamma	$\alpha = 0.87, \beta = 58.28$
MF80-06	120	Weibull	$\beta = 1.505, \eta = 9304$	121	Gamma	$\alpha = 0.59, \beta = 76.9$
K78-01	148	Weibull	$\beta = 1.716, \eta = 7615$	149	Gamma	$\alpha = 0.63, \beta = 71.43$

TABLE 2.9. Ajustement des lois de pannes et de réparation

Notre objectif est d'étudier la disponibilité de la chaîne de montage B. Pour cela, on pose la fiabilité des machines autre que ceux qui appartiennent à la zone A de la courbe ABC égale 1.

Le problème qui se pose est l'étude de cette disponibilité avec la loi de réparation (Gamma) et la loi des pannes (loi Weibull). Pour cela, nous allons approximer les lois de réparation par la loi exponentielle à l'aide du MTE potentielle. Concernant les lois de panne, elles sont ajustées

par une loi de Weibull sous le logiciel R et validés par le test Kolmogorov-Smirnov. On peut approximer ces lois par une loi exponentielle avec un taux de défaillance  $\lambda = \frac{1}{MUT}$ , car dans notre cas, le taux de défaillance de la loi de Weibull est croissant.

Dans ce qui suit, nous allons étudié la disponibilité des trois phases.

**Phase A**

Cette phase comporte les deux machines MF80-04 et MF80-06 en Redondance active. Les durées des pannes (respectivement des réparations) suivent des lois exponentielle de paramètre  $\lambda_1$  (respectivement  $\mu_1$ ).

Soit  $X_t$  le nombre de machines en panne à la date  $t$ . Les états du sous système sont définis comme suit :

- 0 : c'est les deux machines en bon état, le sous système fonctionne ;
- 1 : l'une des deux machines en panne et l'autre en bon état. Le sous système fonctionne ;
- 2 : les deux machines en panne, le sous système ne fonctionne pas.

**Graphe de transition :**

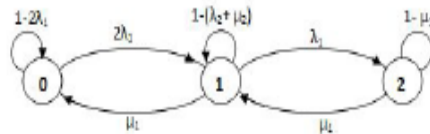


FIGURE 2.7. graphe de transition

**Les équations de Chapman-Kolmogorov :**

$$\begin{aligned} P'_0(t) &= -2\lambda_1 P_0(t) + \mu_1 P_1(t) \\ P'_1(t) &= 2\lambda_1 P_0(t) - (\lambda_1 + \mu_1) P_1(t) + \mu_1 P_2(t) \\ P'_2(t) &= \lambda_1 P_1(t) - \mu_1 P_2(t) \end{aligned}$$

Le graphe est irréductible, le régime stationnaire existe.

**La matrice instantanée**

La matrice instantanée  $P'$  est donnée par :

$$P' = \begin{pmatrix} -2\lambda_1 & 2\lambda_1 & 0 \\ \mu_1 & -(\lambda_1 + \mu_1) & \lambda_1 \\ 0 & \mu_1 & -\mu_1 \end{pmatrix}$$

Après calcul, on obtient la disponibilité de la phase A

$$D_A = \pi_0 + \pi_1 = \frac{\mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} + \frac{2\lambda_1\mu_1}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} = \frac{2\lambda_1\mu_1 + \mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2}$$

L'étude de la disponibilité des deux autres phases se fait de manière similaire et nous avons les résultats suivants.

**Phase B**

Cette phase comporte les une machine. Les durées des pannes (respectivement de réparation) suivent des lois exponentielles de paramètre  $\lambda_2$  (respectivement  $\mu_2$ ). Soit  $X_t$  est le nombre de machines en panne à la date  $t$ . les états du sous système sont définis comme suit :

- 0 la machine en bon état, le sous système fonctionne ;
- 1 la machine en panne, le sous système fonctionne.

Après calculs, la disponibilité de la hase B est donnée par

$$D_B = \pi_0 = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2}$$

**Phase B**

La modélisation de cette phase se fait exactement de la même manière que la phase A et sa disponibilité est donnée par

$$D_C = \frac{2\lambda_3\mu_3 + \mu_3^2}{\mu_3^2 + 2\lambda_3\mu_3 + 2\lambda_3^2}$$

Finalement, la disponibilité du sous système est donnée par

$$D_s = \frac{1}{\left[ \frac{2\lambda_1\mu_1 + \mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} \right]^{-1} + \left[ \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} \right]^{-1} + \left[ \frac{2\lambda_3\mu_3 + \mu_3^2}{\mu_3^2 + 2\lambda_3\mu_3 + 2\lambda_3^2} \right]^{-1} - 2}$$

**2.9.2 Résolution**

Les résultats des approximations sont résumés dans le tableau 6.8

Equi	Taux panne $\lambda$	Taux réparation $\mu$	Taux moy. panne	Taux moy. réparation
489-02	0.000135	0.013	0.000135	0.013
K78-01	0.000225	0.013	0.000179	0.0135
K78-07	0.000133	0.014		
MF80-04	0.000138	0.017	0.000128	0.015
MF80-06	0.000119	0.013		

TABLE 2.10. Taux moyens des pannes et de réparation des équipements identiques

Nous pouvons maintenant calculer numériquement la disponibilité du système.

$$D_s = \frac{1}{\left[ \frac{2\lambda_1\mu_1 + \mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} \right]^{-1} + \left[ \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} \right]^{-1} + \left[ \frac{2\lambda_3\mu_3 + \mu_3^2}{\mu_3^2 + 2\lambda_3\mu_3 + 2\lambda_3^2} \right]^{-1} - 2} = 0.9891.$$

Avec

$$D_A = \frac{2\lambda_1\mu_1 + \mu_1^2}{\mu_1^2 + 2\lambda_1\mu_1 + 2\lambda_1^2} = 0.9998$$

$$D_B = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} = 0.9897$$

$$D_C = \frac{2\lambda_3\mu_3 + \mu_3^2}{\mu_3^2 + 2\lambda_3\mu_3 + 2\lambda_3^2} = 0.9996$$

### 2.9.3 Interprétation des résultats

On remarque que la disponibilité du système est très grande. Cela est dû essentiellement à - La grande disponibilité de chaque équipement ; - La nature du fonctionnement de la chaîne (redondance des équipements), qui offre une meilleure disponibilité ; - Les équipements fonctionnent seulement 8 h/24 h ; - Les temps d'arrêts des équipements sont très faibles par rapport au temps de bon fonctionnement.

## 2.10 Conclusion et perspectives

Cette étude nous a permis de clarifier la relation existante entre la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. Pour avoir une grande disponibilité des installations stratégiques, il faut soit augmenter la fiabilité ou diminuer les temps de réparations des équipements selon l'importance du système étudié et les coûts engendrés par l'augmentation de la fiabilité ou la diminution des temps de réparations, ou encore les deux en même temps.

Les notions de fiabilité et l'économie sont fortement liées. Plus on veut réduire les risques de mauvais fonctionnement du système, plus on augmente sa fiabilité. Cette augmentation engendre l'augmentation des coûts totaux.

L'hypothèse d'exponentialité avait simplement pour objectif d'illustrer l'approche analytique d'obtention de la disponibilité. Pour que les résultats obtenus puissent être exploités il faudrait réaliser l'étude en considérant les lois Gamma et Weibull. De plus, nous proposons d'améliorer ce travail par l'optimisation des temps de renouvellement des composants, de sorte à minimiser les coûts des pannes ou maximiser la disponibilité des équipements, qui présente un temps d'indisponibilité opérationnelle important.

## Références

1. F. Acheuk and M. Hassaim. Etude de la disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise COGB Béjaia. Mémoire de fin d'études, Dept de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2004.
2. P. Chapouille. Fiabilité. Maintenabilité. Techniques de l'Ingénieur, T4300, 2007.
3. Br. Cobb, Pp. Shenoy, and R. Rumi. Approximating probability density functions with mixtures of truncated exponentials. University of Kansas school of business (USA), 1-29, 2004.
4. P. Lyonnet. la maintenance mathématiques et méthodes. Tec et doc édition, 2000.