

1.1.TAUX DE DEFAILLANCE ET LOIS DE FIABILITE :

La maintenance industrielle est un élément clé de la gestion efficace des équipements et des installations de production. Elle vise à maximiser la disponibilité, la fiabilité et la durée de vie des équipements afin d'assurer une production régulière et fiable tout en minimisant les coûts et les risques de panne.

1.1.1. Dans ce contexte, la connaissance des taux de défaillance et des lois de fiabilité est essentielle. Les taux de défaillance représentent la probabilité qu'un équipement tombe en panne au cours d'une période donnée, tandis que les lois de fiabilité décrivent la probabilité de survie d'un équipement dans le temps.

Ces informations sont nécessaires pour planifier et optimiser les programmes de maintenance, afin d'anticiper les pannes et de les prévenir avant qu'elles ne se produisent. Elles permettent également de calculer les coûts de maintenance et d'estimer la durée de vie d'un équipement, ce qui est essentiel pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des actifs.

Dans cette partie du cours sur la maintenance industrielle, nous allons explorer en détail les taux de défaillance et les lois de fiabilité, en examinant les différents modèles mathématiques utilisés pour les calculer et en présentant des exemples concrets pour illustrer leur utilisation dans la pratique. Nous aborderons également les différentes stratégies de maintenance qui peuvent être mises en place en fonction des taux de défaillance et des lois de fiabilité des équipements, afin d'optimiser leur performance et leur durée de vie

Termes clés et définitions

1. Disponibilité (D):

La probabilité qu'un bien soit capable d'effectuer sa fonction prévue de manière satisfaisante, lorsque cela est nécessaire, dans un environnement déterminé. La disponibilité est une fonction de la fiabilité et de la maintenabilité

2. Défaillance

La défaillance correspond à l'incapacité d'un bien ou d'un composant à atteindre les performances attendues. Elle ne nécessite pas que le bien soit inutilisable. La défaillance peut également se traduire par une vitesse réduite ou une non-conformité aux exigences opérationnelles ou de qualité.

3. Taux de défaillance (FR)

Le nombre de défaillances d'un actif sur une période de temps donnée. Le taux de défaillance est considéré comme constant pendant la durée de vie utile d'un bien. Il est généralement exprimé en nombre de défaillances par unité de temps. Désigné par lambda (λ), le taux de défaillance est l'inverse de la durée moyenne entre les défaillances.

4. Maintenabilité (M)

La facilité et la rapidité avec lesquelles une activité de maintenance ou de réparation peut être effectuée sur un bien. La maintenabilité dépend de la conception de l'équipement et est généralement mesurée par la durée moyenne de réparation.

5. Temps moyen d'indisponibilité (MDT)

Le temps total pendant lequel un bien est hors service, depuis son signalement initial jusqu'à son retour en service. Il comprend le temps de réparation ainsi que tous les retards, y compris le temps d'attente pour le cadenassage ou pour l'arrivée d'une personne qualifiée.

6. Temps moyenne entre les défaillances (MTBF)

La durée moyenne entre les défaillances (MTBF) est une mesure de base de la fiabilité des biens. Elle est calculée en divisant le temps de fonctionnement total de bien par le nombre de défaillances sur une période de temps donnée. Le MTBF est l'inverse du taux de défaillance (λ).

7. Temps moyen de réparation (MTTR)

Le temps moyen nécessaire pour restaurer un bien dans son état de fonctionnement normal après une défaillance. Il est calculé en divisant le temps total de réparation du bien par le nombre de défaillances sur une période de temps donnée. C'est une mesure de base de la maintenabilité.

8. Aptitude au fonctionnement

L'aptitude au fonctionnement désigne la capacité à maintenir un bien, une installation ou une usine dans un état de fonctionnement sûr et fiable, conformément aux exigences opérationnelles prédéfinies. En d'autres termes, les biens sont conçus pour une facilité, une sécurité et une fiabilité accrues, et sont exploités par des personnes ayant des compétences qui peuvent être acquises rapidement.

9. Fiabilité (R)

La probabilité qu'un bien ou un élément remplisse ses fonctions prévues pendant une période donnée dans des conditions déterminées. Elle est généralement exprimée en pourcentage et mesurée par la durée moyenne entre les défaillances.

10. Maintenance centrée sur la fiabilité (RCM)

La maintenance centrée sur la fiabilité est une méthodologie ou un processus systématique et structuré visant à développer une stratégie de maintenance efficace et efficiente pour un actif afin de minimiser la probabilité de défaillances. Ce processus garantit la sécurité et la conformité à la mission.

11. Durabilité

La durabilité est la capacité à maintenir un certain état dans le système existant. Dans un sens plus large, la durabilité crée et maintient les conditions dans lesquelles les humains et la nature peuvent exister en harmonie productive, permettant de répondre aux exigences sociales, économiques et environnementales des générations présentes et futures. Pratiquement, cela signifie une utilisation maximale de composants économes en énergie et de substances/matériaux propres et sûrs pour l'environnement.

12. Temps de fonctionnement

Le temps de fonctionnement est la durée pendant laquelle un actif ou un système est entièrement opérationnel ou prêt à remplir sa fonction prévue. C'est l'opposé du temps d'arrêt.

I.6. Modèles de fiabilité :

Il existe deux types de bien : réparables et non réparables.

Des exemples de biens réparables - des biens ou des composants qui peuvent être réparés en cas de défaillance - comprennent des compresseurs, des systèmes hydrauliques, des pompes, des moteurs et des vannes. La fiabilité de ces systèmes réparables est caractérisée par le terme "temps moyen entre les pannes" ou MTBF.

Des exemples de bien non réparables - des biens ou des composants qui ne peuvent pas être réparés en cas de défaillance - sont des ampoules, des moteurs de fusée et des cartes de circuits imprimés. Certains composants, tels que les cartes de circuits intégrés, pourraient être réparés, mais le coût des travaux de réparation sera souvent supérieur au coût de remplacement d'un nouveau composant. Par conséquent, ils sont considérés comme non réparables. La fiabilité des systèmes non réparables est caractérisée par le terme "temps moyen avant panne" ou MTTF.

I.7.1 Fiabilité

La fiabilité (R), telle que définie dans la norme militaire MIL-STD-721C, est "la probabilité qu'un élément accomplisse sa fonction prévue pendant un intervalle spécifique dans des conditions déterminées".

Selon cette définition, un élément ou un bien peut être un composant électronique ou un produit matériel mécanique, un logiciel ou un système de fabrication. La fiabilité est généralement mesurée par le MTBF et est calculée en divisant le temps d'exploitation par le nombre de pannes.

Supposons qu'un bien soit en fonctionnement pendant 2 000 heures (ou pendant 12 mois) et qu'au cours de cette période, il y a eu 10 pannes. Le MTBF de ce bien est

$$\text{MTBF} = 2\,000 \text{ heures} / 10 \text{ pannes} = 200 \text{ heures} / \text{panne}$$

ou

12 mois / 10 pannes = 1,2 mois / panne = une durée de fonctionnement moyenne de 1,2 mois entre les pannes

Un MTBF plus élevé indique généralement un bien ou un composant plus fiable.

I.7.2 Maintenabilité :

La maintenabilité (M) est la mesure de la capacité d'un élément ou d'un bien à être maintenu ou restauré dans un état spécifié lorsque la maintenance est effectuée par du personnel ayant des niveaux de compétences spécifiés, en utilisant des procédures et des ressources prescrites à chaque étape de la maintenance et de la réparation. La maintenabilité est généralement exprimée en heures par temps moyen de réparation (MTTR) ou parfois par temps moyen d'arrêt (MDT). Le MTTR est le temps moyen nécessaire pour réparer un bien donné. C'est le temps de réparation pure (certains l'appellent temps de serrage). En revanche, le MDT est le temps total pendant lequel le bien est en panne, ce qui comprend le temps de réparation plus les retards supplémentaires. Ces retards incluent souvent le temps d'attente pour obtenir des permis et des approbations imprévus, des outils de précision et pour se procurer des pièces et les transporter sur le site.

La Figure I.1 montre graphiquement la différence entre le MTTR et le MDT. Sur le terrain et dans l'atelier, les retards ne sont généralement pas signalés. Le CMMS (the computerized maintenance management system) enregistre le début de la défaillance et le moment où le bien revient en fonctionnement. Ce temps d'arrêt total est le MDT, mais il est signalé comme étant le MTTR. Pour calculer la disponibilité, on substitue généralement le MTTR par le MDT. Il est dans notre intérêt de trouver ces retards. Éliminer ou minimiser ces temps d'attente conduira à des améliorations de la productivité.

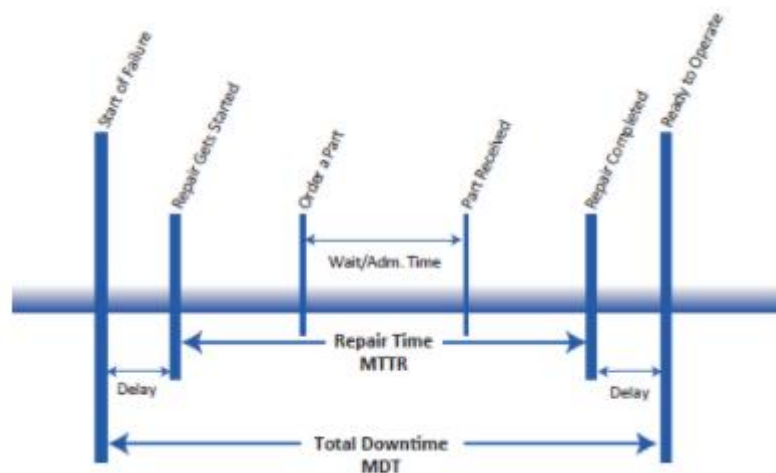


FIGURE I.1 MDT versus MTTR

La maintenabilité se réfère généralement aux caractéristiques des biens, des composants ou des systèmes totaux qui contribuent à faciliter la maintenance et la réparation. Un MTTR plus faible indique généralement une maintenance et une réparation plus faciles, ce qui est positif.

Les figures I.2a, b et c montrent les tendances des données MTBF et MTTR en heures. La base de référence devrait être basée sur environ un an de données, en fonction de vos opérations (cela pourrait être aussi peu que trois mois à deux ans de données pour les biens avec un temps de fonctionnement minimal). Ce type de ligne de tendance est essentiel pour suivre l'impact des améliorations. La figure I.2a montre les données de tendance du MTBF, qui augmentent. Cette tendance est positive, ce qui indique une amélioration de la fiabilité.

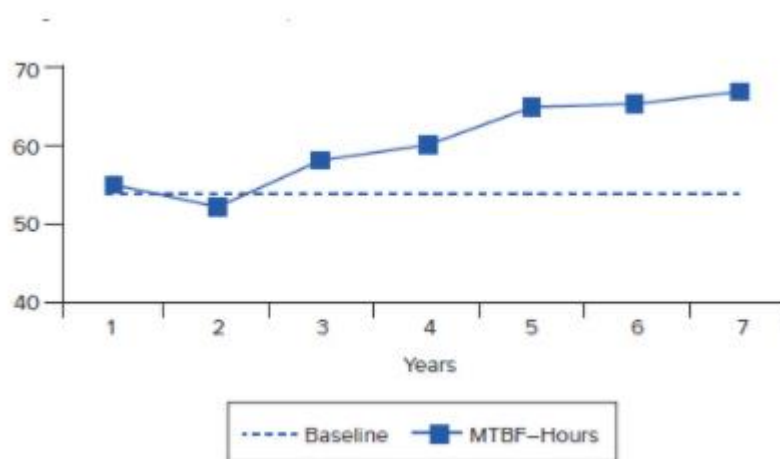


FIGURE I.2a Tendence des données MTBF

Figure I.2b montre les données de tendance MTTR, qui augmentent. Cela va dans la mauvaise direction. Nous devons évaluer pourquoi le MTTR augmente en demandant : "Avons-nous le bon ensemble de compétences dans notre main-d'œuvre ? Identifions-nous et fournissons-nous les bons matériaux, outils et instructions de travail ? Que pouvons-nous faire pour inverser la tendance ?"

Figure I.2c montre les données de tendance MTTR, qui diminuent. Dans ce cas, la tendance est dans la bonne direction. Pour continuer cette tendance, nous devons poser les questions suivantes : "Qu'est-ce qui a causé cela ? Quels changements avons-nous apportés ?" La tendance de ce type de données peut aider à améliorer le processus décisionnel.

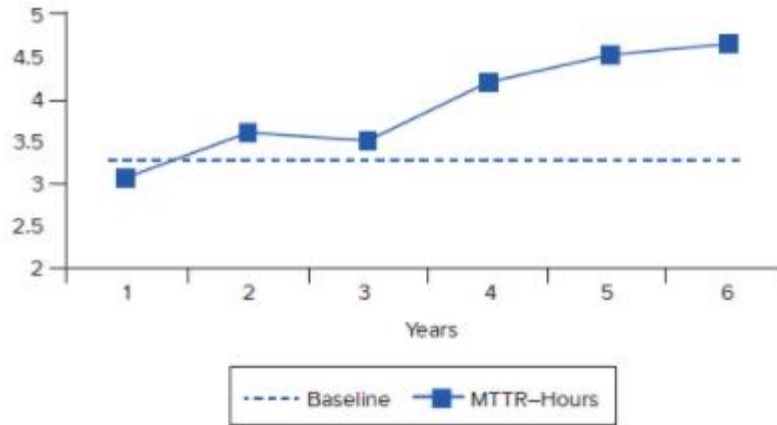


FIGURE I.2b Tendance des données MTTR (I)

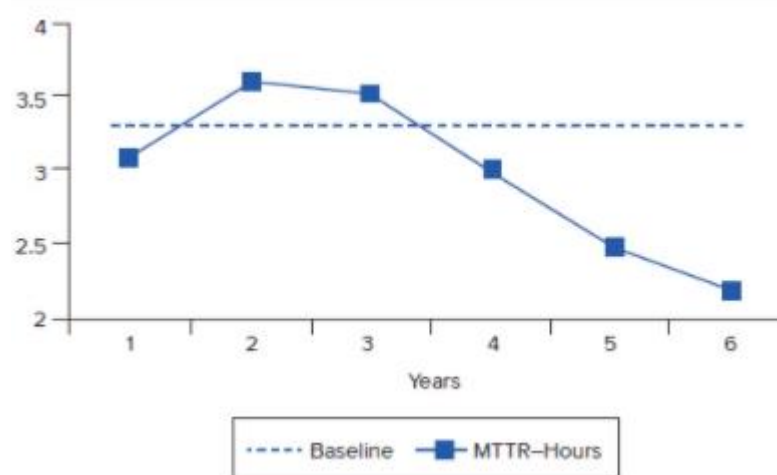


FIGURE I.2c Tendance des données MTTR (D)

Ces deux exemples sont essentiels pour l'amélioration continue et cohérente de la fiabilité et de la maintenabilité.

I.7.3 Disponibilité

La disponibilité (A) est une fonction de la fiabilité et de la maintenabilité de bien. Elle est mesurée par le pourcentage selon lequel un élément ou un bien est dans un état opérationnel et engageable au début de la mission, lorsque la mission est appelée à un moment non spécifié (aléatoire) ou à un moment spécifié et planifié.

En termes simples, la disponibilité peut être définie comme la probabilité qu'un bien soit en état de fonctionnement lorsqu'il est nécessaire. Mathématiquement, la disponibilité est définie comme suit :

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime}$$

La disponibilité définie ci-dessus est généralement appelée disponibilité intrinsèque (A_i). C'est la meilleure option possible du concepteur.

En réalité, la disponibilité réelle sera inférieure à la disponibilité intrinsèque, car le bien sera hors service en raison d'actions de maintenance préventive et corrective. Le terme disponibilité opérationnelle (A_0) prend en compte à la fois la maintenance préventive et corrective et inclut tous les retards - administratifs, matériels et outils, de voyage, de collecte d'informations, etc. - qui maintiennent le bien indisponible. La disponibilité réalisée (A_a) inclut la maintenance préventive, mais pas les retards pour obtenir des matériaux et des outils, des informations, etc.

Par conséquent :

- La disponibilité intrinsèque (A_i) est ce que nous obtenons tel que conçu ; par exemple, elle peut être de 90 %.
- La disponibilité réalisée (A_a) est ce que nous obtenons après avoir effectué des actions de maintenance préventive, mais pas de retards ; par exemple, elle peut se traduire par une disponibilité de 85 %.
- La disponibilité opérationnelle (A_0) est ce que nous obtenons après avoir effectué toutes les actions de maintenance préventive et corrective, y compris tous les retards ; par exemple, elle peut se traduire par une disponibilité de 80 %.

La disponibilité opérationnelle est calculée comme suit :

$$A_0 = MTBM / (MTBM + MDT)$$

où MTBM est le temps moyen entre les actions de maintenance, qui comprend toutes les actions de maintenance corrective et préventive. MDT signifie temps moyen d'indisponibilité, qui inclut le temps de réparation moyen (MTTR) plus les retards ou temps d'attente.

Naturellement, le concepteur ou le fabricant de l'équipement devrait être responsable de la disponibilité inhérente ou atteinte. L'utilisateur de l'équipement devrait être intéressé par la disponibilité opérationnelle. La disponibilité inhérente sera dégradée à mesure que nous utilisons l'équipement ; elle peut rarement être améliorée sans modification de la configuration et de la conception du matériel et des logiciels. La disponibilité peut être améliorée en augmentant la fiabilité et la maintenabilité. Des études de compromis devraient être effectuées pour évaluer la rentabilité de l'augmentation du MTBF (fiabilité) ou de la diminution du MTTR (maintenabilité). Pour simplifier et réduire la confusion, nous utiliserons le terme disponibilité dans ce livre pour représenter la disponibilité inhérente.

La norme de disponibilité est d'environ 95 %, ce qui signifie que l'équipement est disponible pendant 9,5 heures sur 10. Cela est basé sur les attentes générales de l'industrie. Dans certains cas, si les équipements ne sont pas très critiques, la norme peut être inférieure. Mais dans le cas d'équipements critiques tels que les moteurs d'avion, les satellites ou les équipements impliqués dans des opérations 24/7, la norme peut exiger une disponibilité de 99 % ou plus.

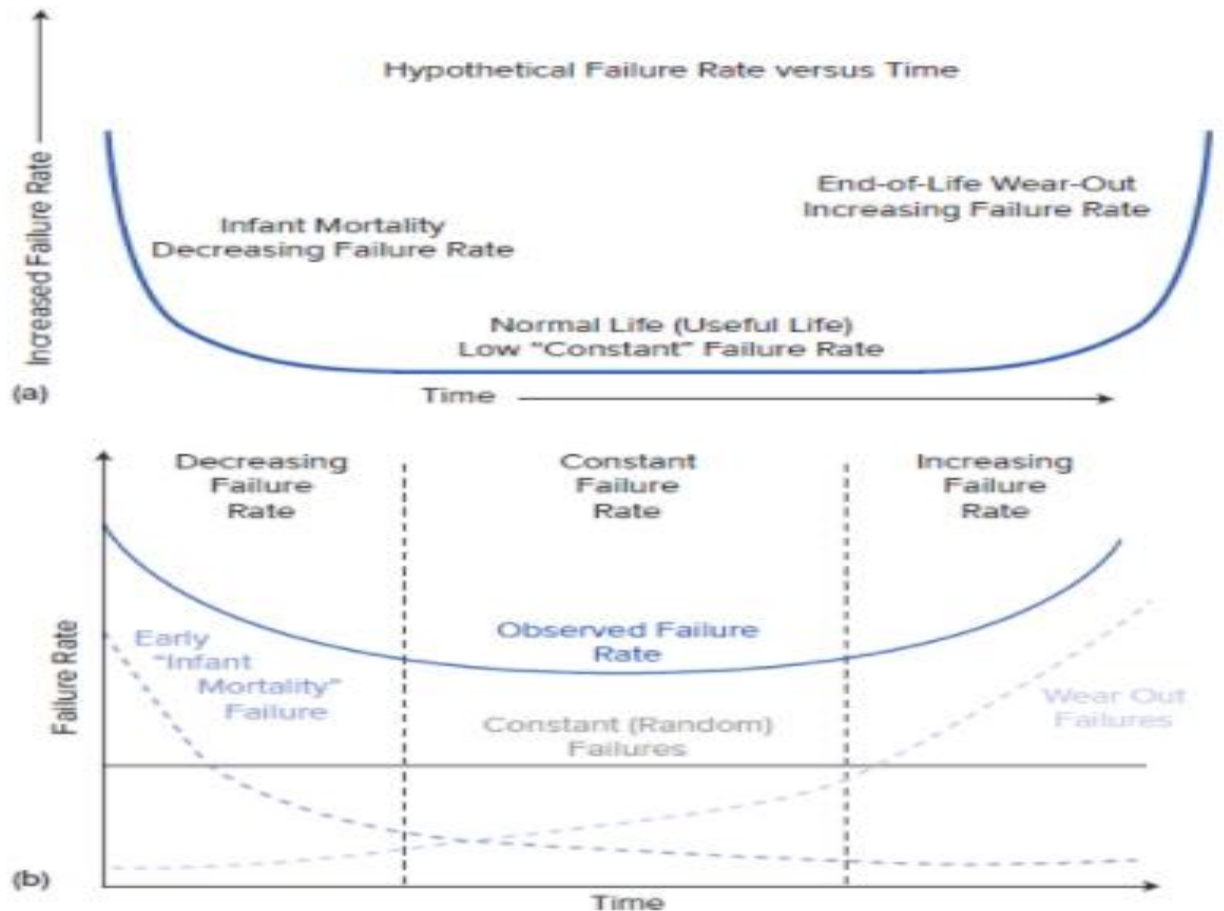
En général, le coût pour atteindre une disponibilité supérieure à 95 % augmente de manière exponentielle. Par conséquent, nous devons effectuer une analyse opérationnelle pour justifier une exigence de haute disponibilité, en particulier si elle dépasse 97 %.

I.8 La courbe de la baignoire et la distribution de fiabilité

La courbe de la baignoire, visible dans la figure I.3a, est largement utilisée en ingénierie de la fiabilité, bien que le concept général soit également applicable aux personnes. La figure I.3b illustre l'origine de la courbe de la baignoire, qui se compose de trois courbes de taux de défaillance (TD) :

- La première partie est une diminution du taux de défaillance, connue sous le nom de défaillances précoces de l'équipement ou de mortalité infantile. C'est similaire à notre enfance.
- La deuxième partie est un taux de défaillance constant, connu sous le nom de défaillances aléatoires. C'est similaire à notre vie d'adulte.
- La troisième partie est une augmentation du taux de défaillance, connue sous le nom de défaillances d'usure. C'est similaire à notre vieillesse.

La courbe de la baignoire est générée en cartographiant le taux de défaillance précoce de mortalité infantile lors de son introduction, le taux de faibles défaillances aléatoires avec un taux de défaillance constant pendant sa durée de vie utile, et enfin le taux de défaillances d'usure à mesure que l'équipement approche de sa limite de durée de vie de conception.



I.9 Distribution et analyse de Weibull

Les modèles de variabilité des données sont appelés distributions. À partir de la bonne distribution, nous pouvons estimer la probabilité attendue d'obtenir un résultat particulier lors d'un test ou d'une utilisation par un client. Le choix du modèle approprié pour la variabilité de mesure est l'objectif principal de la statistique. Une distribution peut être présentée sous forme de fonction de densité de probabilité (FDP) ou de fonction de distribution cumulative (FDC).

Les distributions possibles de valeur extrême est appelée la distribution de Weibull. C'est l'une des solutions les plus largement utilisées pour modéliser la variation des choses, en particulier pour les données de durée de vie (données d'âge à défaillance) et de fiabilité.

La méthode de Weibull fonctionne avec des échantillons extrêmement petits, même deux ou trois défaillances pour une analyse d'ingénierie. Cette caractéristique est importante dans les problèmes de sécurité aérospatiale et dans les tests de développement avec de petits échantillons. La distribution de Weibull est largement utilisée dans l'analyse de la fiabilité et des données de durée de vie en raison de sa polyvalence. Selon les valeurs des paramètres, la distribution de Weibull peut être utilisée pour modéliser une variété de comportements de durée de vie.

Fondamentalement, l'analyse de Weibull est effectuée pour estimer la prédiction de la durée de vie du bien.

La fonction de fiabilité de la distribution est simplement de 1 moins la FDC. La fonction de fiabilité pour la distribution de Weibull à trois paramètres est ensuite donnée par :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Le paramètre d'échelle, η (eta), définit où se trouve la majeure partie de la distribution. Le paramètre de forme, β (béta), définit la forme de la distribution, et le paramètre de localisation, γ (gamma), définit la position de la distribution dans le temps. Notez que t est le temps, une variable.

Pour une distribution à deux paramètres, le paramètre de localisation γ devient 0. La fonction de fiabilité devient alors :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Lorsque $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, et la distribution de Weibull est égale à la distribution exponentielle :

$$R = e^{-\lambda t}$$

où $\lambda = 1/\eta =$ taux de défaillance.

La figure I.4 montre une courbe en forme de baignoire avec la formule de fiabilité de Weibull et avec $\beta < 1$, mortalité précoce ; $\beta = 1$, régime de taux de défaillance constant (qui correspond à la durée de vie utile de l'actif) ; et $\beta > 1$, forte augmentation, également appelée phase d'usure.

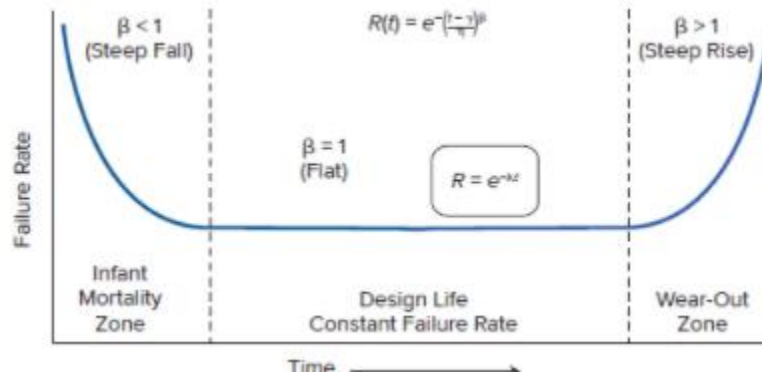


FIGURE I.4 Courbe en forme de baignoire avec la fiabilité de Weibull et la distribution exponentielle

La formule clé pour calculer la fiabilité pendant la durée de vie utile de l'actif ou du composant (taux de défaillance constant) est :

$$R = e^{-\lambda t}$$

où

$e = 2,718$ (Remarque : e est la base du logarithme naturel = 2,71828)

λ = taux de défaillance (inverse de MTBF)

t = temps (temps de mission)

I.10 Calcul de la fiabilité et de la disponibilité

Exemple 1 : Un système hydraulique, qui supporte un centre d'usinage, a fonctionné 3 600 heures au cours des 2 dernières années. L'usine a indiqué qu'il y a eu 12 pannes au cours de cette période. Quelle est la fiabilité de ce système hydraulique s'il doit fonctionner pendant 20 heures ou 100 heures ?

MTBF = temps de fonctionnement/nombre de pannes = 3 600/12 = 300 heures

Taux de panne = 1/MTBF = 1/300 = 0,003334 panne/heure

La fiabilité pour 20 heures de fonctionnement est

$$R(t) = e^{(-\lambda t)}$$

$$R(20) = e^{-(0,003334)(20)} = 93,55 \%$$

La fiabilité pour 100 heures de fonctionnement est :

$$R(100) = e^{-(0,003334)(100)} = 71,65 \%$$

Pour 100 heures de fonctionnement, la fiabilité du système hydraulique est de 71,65 %. Cela signifie qu'il y a environ 72 % de probabilité que le système hydraulique fonctionne sans défaillance. Si nous devons faire fonctionner le système pendant seulement 20 heures, cependant, la probabilité de fonctionnement sans panne augmentera à environ 94 %.

Supposons maintenant qu'il soit nécessaire de faire fonctionner ce système hydraulique pendant 100 heures pour répondre au besoin d'un client clé, et la fiabilité actuelle de 71,65 % n'est pas acceptable. Le système doit avoir une assurance (probabilité) de 95 % ou plus pour répondre aux besoins du client.

Pour avoir des exigences de fiabilité de 95% pour 100 heures de temps de mission, nous devons calculer un nouveau taux d'échec, λ . On utilise l'équation de fiabilité

$$\text{Fiabilité requise} = 0,95 = R(100) = e^{(-\lambda \times 100)}$$

La résolution de cette équation nous donne :

$$(\lambda \times 100) = 0,05$$

$$100\lambda = 0,05$$

Ainsi,

Taux d'échec $\lambda = 0,0005$, ou MTBF = 2 000 heures

Cela indique que le taux d'échec doit passer de 0,00334 (ou un MTBF de 300 heures) à un nouveau taux d'échec de 0,0005 (ou un MTBF de 2 000 heures). Si l'on considère les mêmes 3 600 heures de fonctionnement, le nombre de pannes doit être réduit de 12 à 1,8. Une analyse de la cause première de la défaillance doit être effectuée sur ce système hydraulique pour identifier les composants non fiables. Certains composants devront peut-être repensés ou remplacés pour atteindre le nouveau MTBF de 2 000 heures.

Exemple 2 : Le système de compresseur d'air d'une usine a fonctionné pendant 1 000 heures l'année dernière. L'usine a fourni les données suivantes sur ce système :

Autonomie = 1 000 heures

Nombre d'échecs, aléatoire = 10

Heures totales de temps de réparation = 50 heures

Quelle est la disponibilité et la fiabilité de ce système de compresseur si nous devons faire fonctionner cette unité pendant 10, 20 ou 100 heures ? La figure I.5 montre les données de panne et la figure I.6 montre les données de temps de réparation pour ces pannes.

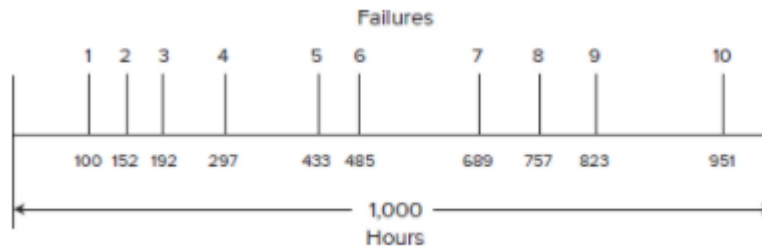


FIGURE I.5 Données de panne du compresseur

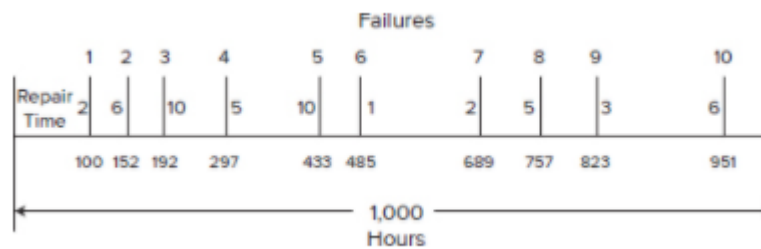


FIGURE I.6 Défaillance du compresseur et données sur le temps de réparation

La figure I.5 montre que la première panne s'est produite à 100 heures de fonctionnement, la seconde à 152 heures de fonctionnement, et ainsi de suite. La figure I.6 montre que la première panne s'est produite à 100 heures de fonctionnement et a pris 2 heures pour être réparée, la deuxième panne s'est produite à 152 heures de fonctionnement et a pris 6 heures pour être réparée, et ainsi de suite. Le temps total de réparation pour 10 pannes est de 50 heures.

Calcul du MTBF et du taux d'échec Le MTBF et le taux d'échec peuvent être calculés comme suit :

$$MTBF = \frac{\text{Operating time}}{\# \text{ of failures}} = \frac{1,000 \text{ hours}}{10 \text{ failures}} = 100 \text{ hours}$$

Le temps moyen entre les pannes est de 100 heures. Ainsi, le taux d'échec est

$$\text{Failure rate } (\lambda) = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{100} = 0.01 \text{ failure/hour}$$

Calcul du MTTR et du taux de réparation En calculant le MTTR et le taux de réparation, nous obtenons

$$MTTR = \frac{\text{Total repair time}}{\# \text{ of failures}} = \frac{50 \text{ hours}}{10 \text{ failures}} = 5 \text{ hours}$$

$$\text{Repair rate } (\mu) = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ hour/failure}$$

Calcul de la disponibilité Ci-dessus, nous avons calculé

MTBF = 100 heures

MTTR = 5 heures

Alors,

$$\text{Availability } (A) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime}$$

$$\text{Availability} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{100}{100 + 5} = 0.95 = 95\%$$

ou

$$\frac{Uptime}{Uptime + Downtime} = \frac{1,000 - 50 = 950}{950 + 50} = 0.95 = 95\%$$

Cela signifie que l'actif est disponible 95 % du temps et qu'il est en panne 5 % du temps pour réparation.

Calcul de la fiabilité Comme calculé précédemment pour l'unité de compresseur,

MTBF = 100 heures

Taux d'échec = 0,01 échec/heure

$$\text{Fiabilité } R(t) = e^{-\lambda t}$$

Si $t = \text{temps} = 10$ heures et $\lambda = 0,01$, alors :

$$\text{Fiabilité } R(10) = e^{-\lambda t} = e^{-(0,01)(10)} = e^{-(0,1)} = 0,90$$

Si $t = 20$ heures et $\lambda = 0,01$, alors :

$$\text{Fiabilité } R(20) = e^{-\lambda t} = e^{-(0,01)(20)} = e^{-(0,2)} = 0,81.$$

Si $t = \text{temps} = 100$ heures et $\lambda = 0,01$, alors :

$$\text{Fiabilité } R(100) = e^{-\lambda t} = e^{-(0,01)(100)} = e^{-(1)} = 0,3678.$$

Ainsi, pour ce système de compresseur avec un MTBF de 100 heures :

Fiabilité pour 10 heures de fonctionnement = 90%

Fiabilité pour 20 heures de fonctionnement = 82%

Fiabilité pour 100 heures de fonctionnement = 37%

Ces données indiquent que la fiabilité de l'unité de compresseur d'air dans cet exemple est de 90 % pour 10 heures de fonctionnement. Cependant, la fiabilité tombe à 37% si nous décidons de faire fonctionner l'unité pendant 100 heures. Pour 20 heures de fonctionnement, la fiabilité est de 82 %. Si ce niveau de fiabilité n'est pas acceptable, nous devons effectuer une analyse des causes profondes des défaillances pour déterminer quel composant doit être repensé ou modifié pour réduire le nombre de défaillances, augmentant ainsi la fiabilité.

Ces calculs démontrent également à quel point il est essentiel d'établir un niveau de fiabilité requis lors de la phase de conception et de conception du cycle de vie d'un bien. Si les attentes relatives à l'exploitation d'un bien ne sont pas conçues, l'impact sur la fiabilité est clair lorsque des décisions opérationnelles concernant la poursuite de l'exécution sont prises, et le temps d'exécution est prolongé au-delà de la conception calculée pour un bien, une chaîne de production ou la fabrication totale d'usine.