

Mise en situation	2
Introduction	3
6.1. L'analyse de travaux complétés.....	3
6.1.1. L'analyse des bons de travail.....	3
6.1.2. L'historique.....	3
6.2. Contrôler la maintenance.....	3
6.2.1. Méthode.....	3
6.2.2. Points de contrôle:.....	4
6.2.3. La performance des travaux de maintenance.....	6
6.3. Gains d'une bonne gestion	7
Fiabilité, maintenabilité et disponibilité	8
6.4. La maintenabilité	8
6.4.1. MTTR.....	9
6.5. La fiabilité	9
6.5.1. MTBF.....	9
6.5.2. Les probabilités d'une défaillance	9
6.5.3. courbe de fiabilité d'un équipement.....	11
6.6. La distribution de Weibull.....	12
6.6.1. Estimation de la fiabilité d'un équipement	13
6.7. La fiabilité des systèmes.....	17
6.7.1. Système en série.....	17
6.7.2. Système en parallèle	17
6.8. Exercice sur la fiabilité des systèmes	19
6.9. Disponibilité	19
6.9.1. La disponibilité des systèmes en série	20
6.10. Exercice de disponibilité des systèmes en série	21
6.11. Vision TPM de la disponibilité	21
6.12. Exercice de calcul de la disponibilité.....	22
6.13. Exercice d'application de la distribution de Weibull.....	22
6.13.1. Cas exponentiel.....	22
6.13.2. Cas normal.....	23
Exercice synthèse.....	24
Corrigés	25
Grille d'analyse pour l'étude de cas	25
Grille d'analyse pour la fiabilité	25

Mise en situation

Depuis un certain temps, Krumax, la compagnie pour laquelle Damien travaille, vit des difficultés au niveau des ses ventes. Le temps est à la rationalisation et les budgets sont coupés. La direction demande à tous les secteurs y compris la maintenance de demeurer performant et de réduire les coûts d'opération.

Damien sait que le département de maintenance est devenu très efficace depuis qu'il a instauré un système de communication, depuis qu'il maîtrise ses ressources et qu'il pratique la maintenance préventive. Maintenant il doit le prouver à la direction, mais comment faire ?

La première idée qui lui vient, c'est le backlog.

- Je vais démontrer à la direction que la quantité de travail du backlog n'augmente pas, signe que nous faisons notre travail. Cependant, ça ne prouve pas que nous le faisons de façon efficace.

Il considère à la quantité de bris d'équipement qui a diminué et à la réduction des temps d'intervention.

- Ce sont là des preuves de notre bon travail, oui mais comment les présenter et les interpréter ?

Introduction

Ce chapitre traite de l'analyse des travaux complétés et du contrôle de la maintenance. Chacune de ces actions possède des objectifs permettant au gestionnaire de la maintenance de mesurer, comparer et d'évaluer l'état de l'efficacité du service. Ces actions sont nécessaires pour apporter les correctifs au fonctionnement de la maintenance et ainsi en rendre le service rentable et efficace, sens qu'il ne soit perçu comme une dépense.

6.1. L'analyse de travaux complétés

L'analyse des travaux complétés sert à accumuler de l'information sur l'ensemble des activités de la maintenance. Pour ce faire, l'analyse porte sur les bons de travail.

6.1.1. L'analyse des bons de travail

Cette analyse se fait grâce à l'information tirée des bons de travail. On cherche ainsi à identifier certains aspects :

- ?? les équipements les plus sujets à la réparation;
- ?? les actions de maintenance les plus fréquentes.

Ils se compilent dans l'historique de l'équipement

6.1.2. L'historique

Il représente le carnet de santé de la machine. C'est un document complémentaire au dossier machine.

Toutes les informations tirées des bons de travail doivent être gardées en mémoire afin d'assurer le contrôle de la maintenance.

6.2. Contrôler la maintenance

Le contrôle de la maintenance a pour but de mesurer, de compiler et d'analyser l'information afin de contrôler la performance de la maintenance, d'apporter les correctifs nécessaires et ainsi d'assurer l'optimisation de la productivité globale des installations.

6.2.1. Méthode

Voici la méthode qui assure un bon contrôle de la maintenance :

- ?? Établir un système d'information qui repose sur un système de bons

- de travail efficace, centré sur l'équipement;
- ?? Obtenir et analyser des informations claires, pertinentes et précises;
- ?? Identifier rapidement les équipements à problèmes par l'analyse de Pareto;
- ?? Initier les mesures correctives nécessaires (rechercher les véritables causes par les techniques);
- ?? Mesurer l'amélioration continue de la maintenance par comparaison à des cibles pré-définies ou par des indicateurs.

6.2.2. Points de contrôle:

Le contrôle de la maintenance se fait à partir de points suivants :

- ?? La main d'œuvre;
- ?? Les stocks maintenance et les matériaux;
- ?? Les coûts;
- ?? La performance des travaux de maintenance.

6.2.2.1. Main d'œuvre

Le contrôle de la main d'œuvre passe par une série d'outils ou d'indicateurs:

- ?? Planification annuelle vs charge de travail identifiée;
- ?? Absentéisme;
- ?? Temps supplémentaire;
- ?? Main d'œuvre par catégorie de travaux;
- ?? Provenance des travaux;
- ?? Backlog ;
- ?? Efficacité de la main d'œuvre par la mesure des délais;
- ?? Suivi des travaux d'envergure par la comparaison de l'actuel vs l'estimation;
- ?? Historique des travaux;
- ?? Grievs qui mesurent le climat de travail;
- ?? Délais typiques
 - ?? identification des pièces;
 - ?? attentes pour évaluer le travail à faire;
 - ?? mauvaises instructions;
 - ?? outils manquants;
 - ?? dessins pas à jour;
 - ?? attentes pour coordination avec autres métiers;
 - ?? attentes pour équipements en production;
 - ?? attentes pour équipements de levage ;
- ?? mauvaises techniques de réparation;
- ?? manque de connaissances et d'habiletés ;
- ?? problèmes de relations de travail;

6.2.2.2. Les stocks maintenance

Il faut contrôler les activités suivantes pour s'assurer de la disponibilité des pièces de rechange

- ?? Entrées et sorties du magasin ;
- ?? Autorisation des achats ;
- ?? Achat de pièces de rechange;
- ?? Achat de matériaux équivalents ;
- ?? Réapprovisionnement de matériel à haute valeur (ABC);
- ?? Réparation des pièces réparables;
- ?? Contrôle des magasins (officiels et non officiels);
- ?? Système de contrôle manuel ou informatisé ;
- ?? QEC et points de commande;
- ?? Rupture de stocks;
- ?? Inspection lors de la réception;
- ?? Consultation des usagers de maintenance ;
- ?? Livraison interne efficace ;
- ?? Indices de performance: (valeurs des stocks, niveaux d'inventaire, ruptures de stocks, taux de roulement ...)

Rappel des dangers d'une mauvaise gestion des stocks:

- ?? Le matériel est difficile à obtenir ;
- ?? Les hommes se fient au contremaître ou planificateur pour obtenir les pièces;
- ?? Le contremaître passe plus de temps à chercher les pièces qu'à superviser;
- ?? Les planificateurs recherchent les pièces pour les urgences plutôt que de planifier ;
- ?? Le surintendant cherche les pièces.

Rappelons-nous pistes de solution

- ?? Les hommes identifient et obtiennent eux-mêmes les pièces ;
- ?? Accès rapide et simple à l'information pour les pièces et équipements ;
- ?? Planification annuelle des travaux périodiques qui donne une liste des tâches, des pièces et des outils;
- ?? Partage des prévisions de consommation avec l'approvisionnement ;
- ?? Préparation de d'ensemble (kits) à l'avance ;
- ?? Définition du cheminement des pièces re conditionnées.

6.2.2.3. Les coûts

Les coûts sont établis à partir des informations suivantes

- ?? bons de travail réalisés
- ?? sorties de pièces du magasin
- ?? feuilles de temps
- ?? outillage utilisé
- ?? factures d'achats
- ?? factures de sous-traitants
- ?? estimation des pertes de production
- ?? estimation des pertes de non-qualité

Les coûts peuvent être regroupés par:

- ?? corps de métiers
- ?? secteurs de production
- ?? types d'équipements
- ?? nature des coûts (dépannage, prévention, reconstruction, urgence, planifié ...)

Les outils pour contrôler des coûts sont :

- ?? budget prévisionnel annuel ;
- ?? suivi des dépenses et respect du budget ;
- ?? établissement du niveau de maintenance préventive à réaliser ;
- ?? vérification de l'efficacité des interventions de maintenance ;
- ?? utilisation de la sous-traitance ou main d'œuvre externe ;
- ?? analyses de renouvellement des équipements ;
- ?? achats à l'identique ou non.

6.2.3. La performance des travaux de maintenance

Pour pouvoir mesurer rapidement la performance d'un département de maintenance, on se sert d'indicateurs de performance. Il existe plusieurs indicateurs en maintenance, listés ci-dessous. Toutefois, il faut en sélectionner seulement quelques-uns de façon à bien les gérer et bien les suivre. On les divise en 3 familles :

- ?? Les ratios
- ?? Les indicatifs
- ?? Les comparatifs

6.2.3.1. Les ratios

- ?? Coûts d'entretien totaux / unités produites ;
- ?? Coûts d'entretien main d'œuvre / unités produites ;
- ?? Coûts sous traitants / Coûts entretien ;
- ?? Coûts préventifs, correctifs, urgence / Coûts maintenance ;
- ?? Heures sur BT préventif, BT correctif, BT urgence, / heures totales de maintenance ;
- ?? Heure modification / heures totales de maintenance ;
- ?? Coûts d'entretien pièces / unités produites ;
- ?? Coûts modifications / Coûts maintenance.

6.2.3.2. Les indicatifs

- ?? No. BT correctif, préventif, prédictif à 30,60,90 jours de retard ;
- ?? backlog , en heures ;
- ?? backlog par métier, département, priorité. travaux complétés;
- ?? Taux de roulement des stocks ;
- ?? MTTR, MTBF ;
- ?? temps supplémentaire (heures et no. appels);
- ?? travaux en cours;
- ?? travaux en attente pour arrêts planifiés.

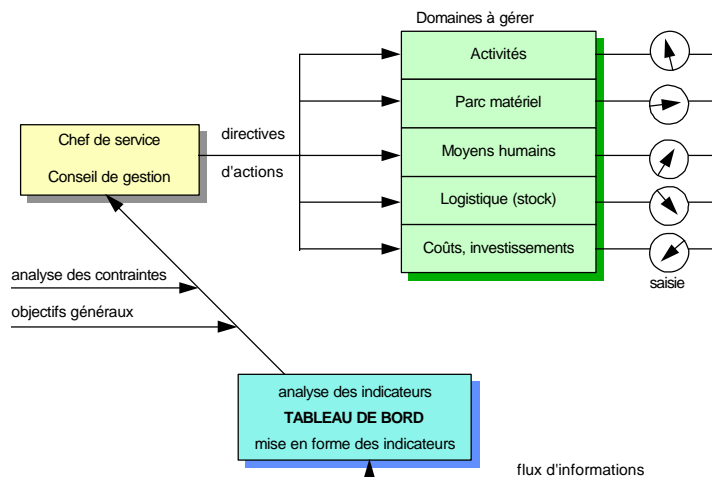
6.2.3.3. Les comparatifs

- ?? Respect des calendriers hebdomadaires;
- ?? Respect du programme d'entretien préventif;
- ?? Nombre d'arrêts planifiés vs Arrêt total ;
- ?? Effectifs maintenance vs effectifs production ;
- ?? Coûts de maintenance vs effectifs maintenance ;
- ?? effectifs maintenance vs effectifs totaux ;
- ?? Coûts de maintenance vs chiffre d'affaires ;
- ?? Coûts de maintenance vs valeur ajoutée ;
- ?? Coûts de maintenance vs frais généraux ;
- ?? Coûts de maintenance vs frais généraux maintenance ;
- ?? Coûts de maintenance vs effectifs production ;
- ?? Coûts de maintenance vs effectifs totaux ;
- ?? Coûts de maintenance vs valeur immobilisations brutes.

6.3. Gains d'une bonne gestion

Les gains financiers deviennent importants lorsque la maintenance est bien gérée

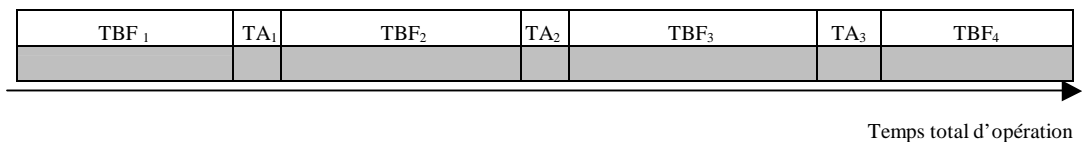
- ?? vie prolongée des équipements 5%
- ?? réduction du coût d'énergie 5%
- ?? productivité de la main d'œuvre accrue : 3%
- ?? réduction du surtemps: 10 %
- ?? réduction du coût des pannes majeures: 10 %
- ?? réduction de pièces de rechange: 5%
- ?? réduction des stocks: 20 %
- ?? réduction du nombre d'appels: 30 %



Fiabilité, maintenabilité et disponibilité

Les indicateurs de performance en maintenance MTBF et le MTTR sont parmi les indicateurs les plus utilisés. Ils se réfèrent à des notions de fiabilité, de maintenabilité et de disponibilité.

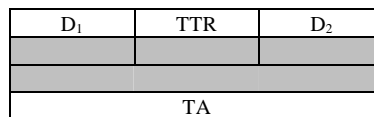
La vie d'un équipement industriel comprend une alternance d'arrêt et d'opération (bon fonctionnement). On peut l'illustrer par :



TBF = temps d'opération (bon fonctionnement)

TA = temps d'arrêt

Le temps d'arrêt est décomposé en trois, d'abord le temps nécessaire à la préparation de l'intervention de maintenance (délais D₁), le temps de l'intervention proprement dite (TTR ou temps technique de réparation) et le temps de remise en marche (délai D₂)



TTR = temps technique de réparation

D = délais

À partir des temps de bon fonctionnement et des temps d'arrêt, il est possible de calculer les indices MTBF, MTTR et la disponibilité d'un équipement

6.4. La maintenabilité

La maintenabilité concerne l'action de maintenance comme telle. Par la maintenabilité, on recherche l'optimisation du temps d'intervention afin d'augmenter le temps de production en diminuant les délais dûs au :

- ?? temps pour l'attente de pièce de remplacement
- ?? temps pour compléter les documents
- ?? temps de préparation de l'action

Son indice est le MTTR

6.4.1. MTTR

MTTR signifie moyenne des temps techniques de réparation. Il indique le temps moyen des différentes actions de maintenance prises pour un équipement.

Il s'exprime de la façon suivante :

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps total d'arrêts}}{\text{Nombre d'arrêts}}$$

6.5. La fiabilité

La fiabilité est la probabilité qu'un produit fonctionne correctement sans panne dans des conditions d'utilisation données pendant une durée spécifique. Elle s'exprime en probabilités

Cette définition suppose que l'on doit connaître:

- ?? Ce qu'on entend par fonctionner correctement ;
- ?? Les conditions d'utilisation ;
- ?? Le temps moyen souhaité entre les pannes.

L'indice de fiabilité le plus employé est le MTBF

6.5.1. MTBF

Le MTBF signifie moyenne des temps de bon fonctionnement. Il indique la durée moyenne d'un équipement en bon fonctionnement (en production).

Il se calcule ainsi :

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Temps total d'opération}}{\text{Nombre d'arrêts}+1} \quad \text{si le MTBF est calculé suite à un TBF}$$

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Temps total d'opération}}{\text{Nombre d'arrêts}} \quad \text{si le MTBF est calculé suite à un TA}$$

6.5.2. Les probabilités d'une défaillance

6.5.2.1. La fiabilité $R(t)$

La fiabilité d'un équipement régresse avec le temps. Plus un équipement est vieux, plus la probabilité de sa fiabilité diminue. En contrepartie, plus l'équipement est récent, plus sa probabilité de sa fiabilité est grande. On dit aussi que c'est la probabilité de survie au bout d'un temps t

6.5.2.2. La probabilité de défaillance $F(t)$

La probabilité de défaillance est le complément de la fiabilité. Plus un équipement est vieux plus sa probabilité de défaillance est grande. En

contrepartie, plus l'équipement est récent, plus sa probabilité de défaillance est petite.

6.5.2.3. La densité de probabilité de défaillance $f(t)$

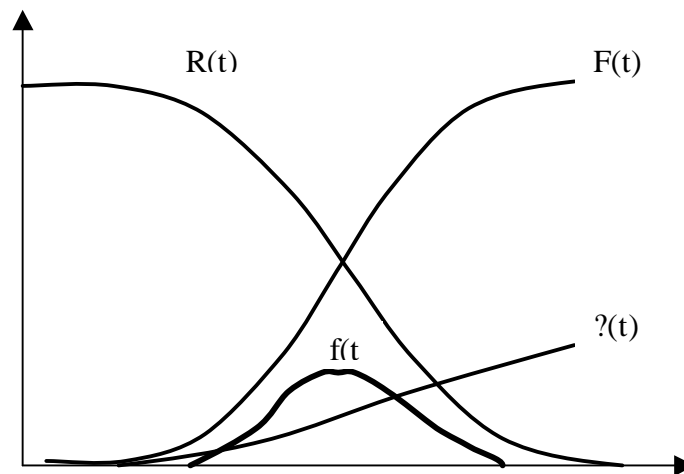
C'est la probabilité de défaillance par unité de temps à l'époque t

6.5.2.4. Le taux de défaillance $\lambda(t)$

C'est la probabilité de défaillance des équipements restés en bon état.

Il se calcule ainsi :

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \text{ou} \quad \lambda = 1/\text{MTBF}$$



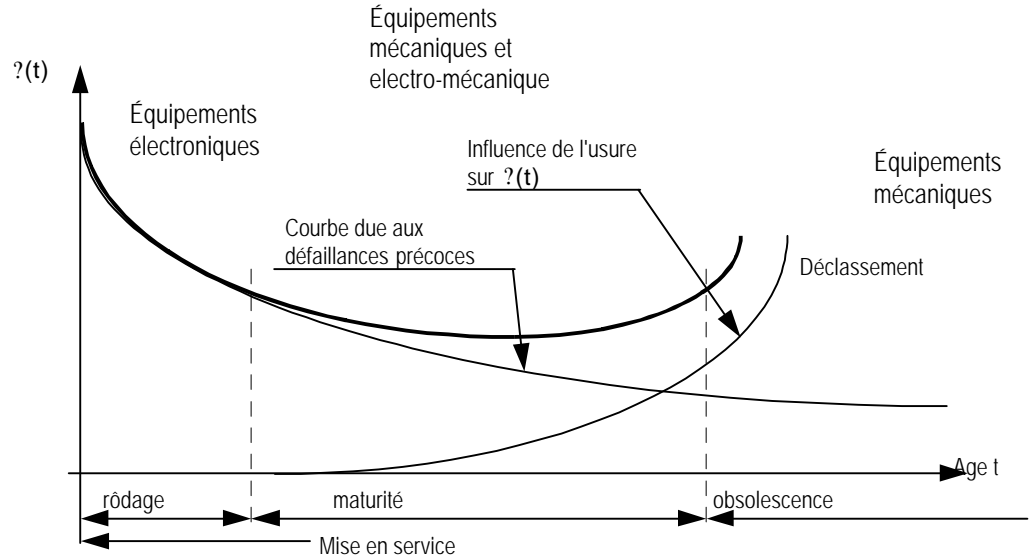
On remarque que la fiabilité et la probabilité de bris sont complémentaires et se croisent en 0.5.

6.5.3. Courbe de fiabilité d'un équipement

La fiabilité d'un équipement se caractérise par la courbe suivante.

On remarque 3 zones :

- ?? La zone de rodage (jeunesse) de l'équipement ;
- ?? La zone de maturité de l'équipement ;
- ?? La zone d'obsolescence (vieillesse) .



6.5.3.1. La zone de rodage

- ?? Le premier segment correspond à la phase de développement du produit ou encore à celle dite de la mortalité infantile ou jeunesse ;
- ?? On remarquera que le taux de défaillance décroît avec le temps ;
- ?? Elle caractérise le comportement de composants électroniques ;
- ?? Le but d'un bon programme de fiabilité est de s'assurer que le produit qui parvient à l'utilisateur n'est plus dans cette phase de défaillance à taux décroissant.

En maintenance, la zone de jeunesse ou de déverminage n'est pas intéressante car elle représente une période normale de l'évolution et très souvent elle est couverte par les garanties des manufacturiers

6.5.3.2. La zone de maturité

Le deuxième segment correspond à la phase de vie utile du produit.

- ?? On remarque que le taux de défaillance est quasi constant dans le temps
- ?? C'est le segment auquel s'intéresse le plus le programme de fiabilité.
- ?? C'est cette partie de la courbe qui sert à établir le MTBF du produit.

Cette zone s'applique habituellement aux équipements mécaniques ou électromécaniques.

Dans la zone de maturité de l'équipement, la courbe de fiabilité suit une distribution exponentielle $e^{-x/\theta}$. Dans notre cas, θ est le MTBF et x est le temps que l'on recherche la probabilité de défaillance. Elle s'apparente à un modèle exponentiel.

6.5.3.3. La zone d'obsolescence ou d'usure

Le troisième segment correspond à la phase de fin de vie utile du produit. À ce point, il peut-être non rentable de continuer à chercher à le maintenir en état d'opération

?? On remarque que le taux de défaillance est croissant dans le temps

La zone obsolescence (vieillesse ou d'usure), est la plus intéressante car s'applique aux éléments mécaniques d'un équipement. On tend à augmenter la vie de l'équipement en prévoyant les bris causés par l'usure. On remarque que le taux de défaillance est croissant.

Cette zone suit une loi normale.

6.6. La distribution de Weibull

La distribution de Weibull est la plus utilisée en fiabilité. Elle comporte plusieurs éléments qui la rendent très flexible, mais les déterminer n'est pas un travail facile.

Trois paramètres définissent la courbe :

Le paramètre θ

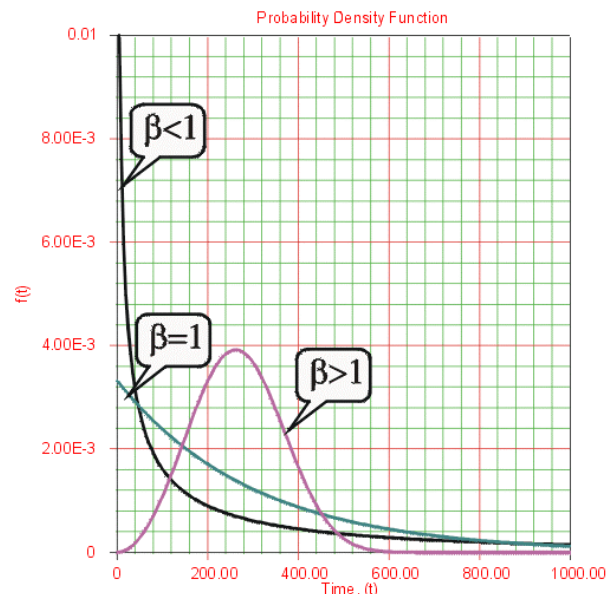
Le paramètre β

Le paramètre a

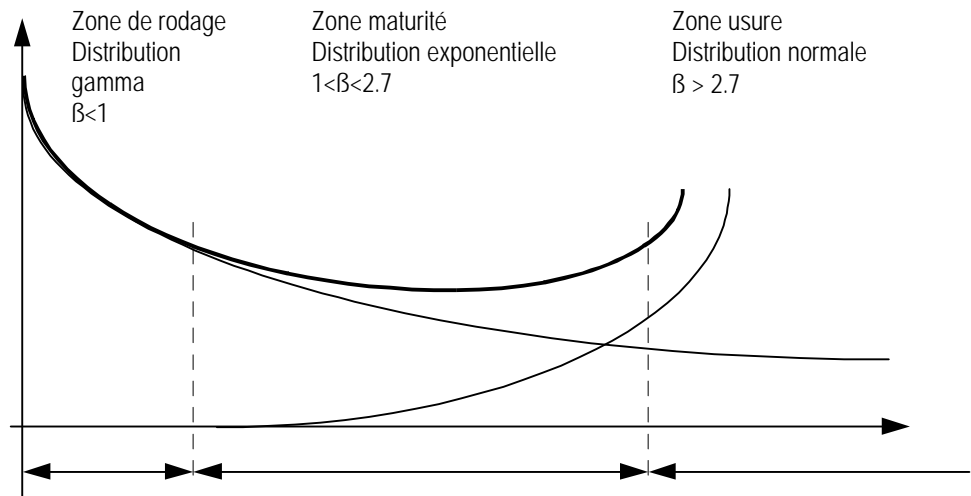
Le paramètre β est le plus important des trois car il permet de contrôler la forme de la distribution.

Le paramètre contrôle l'amplitude (la hauteur) et le paramètre θ point de départ de la courbe et fait varier dans le temps

La forme de la courbe est influencée par le paramètre β . Selon la valeur de β , la courbe du taux de défaillances prendra plusieurs formes différentes.



La distribution permet de prédire le MTBF et la probabilité d'une défaillance selon son β



6.6.1. Estimation de la fiabilité d'un équipement

Il est possible d'évaluer le MTBF, la zone et les fréquences optimales de MP pour un équipement en traçant la courbe de fiabilité de l'équipement.

6.6.1.1. Objectifs :

En traçant la courbe de fiabilité on recherche :

- ?? À savoir dans quelle zone l'équipement se situe (rodage, maturité, obsolescence) ;
- ?? Les fréquences optimales de maintenance préventive ;
- ?? À faire extrapoler et à appliquer les résultats à un équipement qui possède les mêmes conditions d'opération.

6.6.1.2. Fiabilité opérationnelle

1. D'après l'historique de l'équipement, on recense toutes les défaillances d'un équipement
2. On établit le nombre de classes de temps. Lorsque le nombre de défaillances est supérieur à 50 on utilise $n = (k)^{1/2}$ ou $k = \text{nb de défaillances}$
3. On regroupe dans un tableau les données

Classe	Nb de machine En fonction	? des TBF	Nb de défaillances	? taux de défaillance
--------	------------------------------	-----------	--------------------	-----------------------

4. Tracer la courbe

6.6.1.3.Exemple de fiabilité opérationnelle

On étudie une génératrice suite à son déclassement après 16500 heures d'opération. Pendant cette période, la génératrice a cumulé 218 arrêts. On résume les données ainsi.

- ?? Tracer la courbe de fiabilité
- ?? Estimer la zone d'usure de la génératrice.

Heures	MTBF
1000	66,7
2000	100
3000	250
4000	500
5000	400
6000	555,6
7000	416,7
8000	526,32
9000	500
10000	476,2
11000	555,6
12000	512
13000	200
14000	111,1
15000	100

6.6.1.4. Fiabilité prévisionnelle

1. Classer les fréquences de fiabilité en ordre croissant
2. Associer les % des rangs médians
3. Tracer la droite sur le papier de Weibull

Median Rank Values										
SAMPLE SIZE										
RANK ORDER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	50.0	29.3	20.6	15.9	12.9	10.9	9.4	8.3	7.4	6.7
2		70.7	50.0	38.6	31.4	26.4	22.8	20.1	18.0	16.2
3			79.4	61.4	50.0	42.1	36.4	32.1	28.6	25.9
4				84.1	68.6	57.9	50.0	44.0	39.3	35.5
5					87.1	73.6	63.6	56.0	50.0	45.2
6						89.1	77.2	67.9	60.7	54.8
7							90.6	79.9	71.4	64.5
8								91.7	82.0	74.1
9									92.6	83.8
10										93.3

SAMPLE SIZE																				
RANK ORDER	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20										
1	6.1	5.6	5.2	4.8	4.5	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4										
2	14.8	13.6	12.6	11.7	10.9	10.3	9.7	9.2	8.7	8.3										
3	23.8	21.7	20.0	18.6	17.4	16.4	15.4	14.6	13.8	13.1										
4	32.4	29.8	27.5	25.6	23.9	22.5	21.2	20.0	19.0	18.1										
5	41.2	37.9	35.0	32.6	30.5	28.6	26.9	25.5	24.2	23.0										
6	50.0	46.0	42.5	39.5	37.0	34.7	32.7	30.9	29.3	27.9										
7	58.8	54.0	50.0	46.5	43.5	40.8	38.5	36.4	34.5	32.8										
8	67.6	62.1	57.5	53.5	50.0	46.9	44.2	41.8	39.7	37.7										
9	76.4	70.2	65.0	60.5	56.5	53.1	50.0	47.3	44.8	42.6										
10	85.2	78.3	72.5	67.4	63.0	59.2	55.8	52.7	50.0	47.5										
11	93.9	86.4	80.0	74.4	69.5	65.3	61.5	58.2	55.2	52.5										
12		94.4	87.4	81.4	76.1	71.4	67.3	63.6	60.3	57.4										
13			94.8	88.3	82.6	77.5	73.1	69.1	65.5	62.3										
14				95.2	89.1	83.6	78.8	74.5	70.7	67.2										
15					95.5	89.7	84.6	80.0	75.8	72.1										
16						95.8	90.3	85.4	81.0	77.0										
17							96.0	90.8	86.2	81.9										
18								96.2	91.3	86.9										
19									96.4	91.7										
20										96.6										

4. Estimer le β correspondant en traçant une droite parallèle au point du 63.5
5. Estimer la MTBF prévisionnelle à l'intersection du 63.5%.

Exemple:

Soit les fiabilités suivantes enregistrées sur un équipement, trouver le MTBF et le β .

	Heures TBF
1	4000
2	1300
3	9800
4	2700
5	6600
6	5200

Classement en ordre croissant et rang médian

6.7. Exercice d'application de la fiabilité prévisionnelle

Voici des résultats d'essais de fiabilité en heures:

1- 47500	6-143574
2- 87600	7- 92657
3- 27250	8- 99876
4- 110312	9- 67892
5- 175613	10- 155613

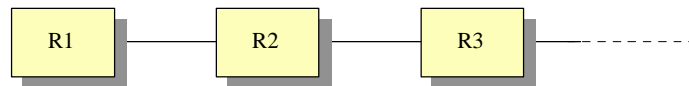
- ?? À quelle phase de vie du produit appartient ce groupe de données
- ?? Quelle est la MTBF opérationnel et prévisionnel
- ?? Quelle est la probabilité que les unités fonctionnent 85000h sans défaillance
- ?? Quelle est la proportion des unités qui aura une défaillance entre 77000h et 135000h d'opération

6.8. La fiabilité des systèmes

Lorsque les équipements sont composés de plusieurs équipements formant ainsi un système, il faut ajuster le calcul de la fiabilité au système. De façon générale, les systèmes sont en série ou en parallèle

6.8.1. Système en série

Un système constitué de R éléments est dit en série si la défaillance d'un élément entraîne celle du système et si les défaillances sont indépendantes.



La fiabilité résultante est donnée par:

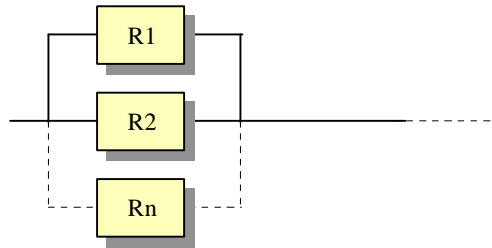
$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

La fiabilité du système en série se calcul ainsi :

$$R(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times R_3(t) \times \dots \times R_n(t)$$

6.8.2. Système en parallèle

Un système est dit en parallèle s'il suffit qu'un seul des éléments fonctionne pour que le système fonctionne.



La fiabilité résultante est donnée

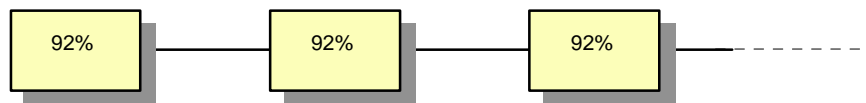
$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$

La fiabilité du système en série se calcule ainsi :

$$R(t) = 1 - ((1 - R_1(t)) \times (1 - R_2(t)) \times \dots \times (1 - R_n(t)))$$

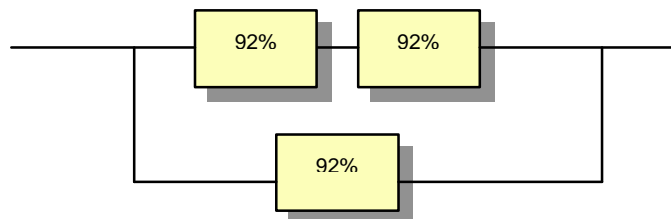
Évidemment, plus il y a de composantes en parallèle, meilleure est la fiabilité. Habituellement, on utilise cette propriété pour accroître la sécurité de fonctionnement d'un système, pensons au système de freins d'urgence sur une automobile ou deux pompes en parallèle

Exemple :



Chaque composante du système suivant a une fiabilité de 92%. Quelle est la fiabilité du système ?

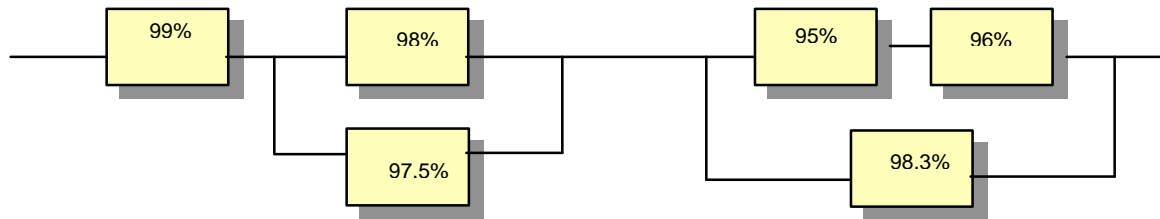
Rep : 77.86%



Rep : 98.77%

6.9. Exercice sur la fiabilité des systèmes

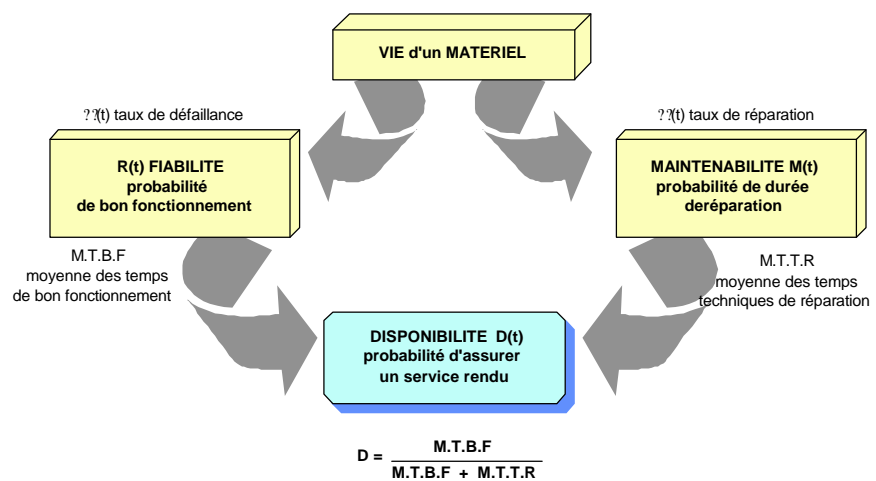
Trouver la fiabilité du système suivant sachant que chaque composante a la fiabilité indiquée dans le carré



6.10. Disponibilité

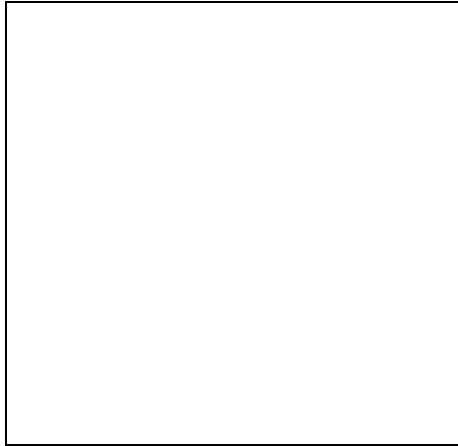
C'est un indice qui inclut les précédents. Habituellement, c'est cet indice qui est mesuré car il est plus complet. Il détermine la disponibilité d'un équipement à effectuer son travail dans le temps. On le calcule ainsi :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$



Exemple de calcul des indices

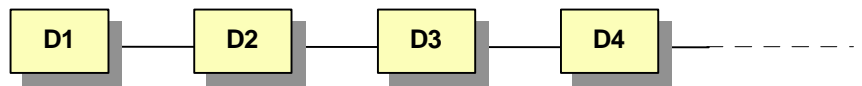
On a relevé les heures de bon fonctionnement d'un compresseur et les durées de l'intervention de maintenance. Calculons le MBTF, MTTR, et la disponibilité du compresseur.



Opération (h)	durée (h)
2558	15
3525	11
4527	12
5525	14
6517	

6.10.1. La disponibilité des systèmes en série

Il s'agit en fait de chaîne où les unités sont en série; l'arrêt de l'une d'entre elles implique l'arrêt de l'ensemble.



La disponibilité générale est alors définie par:

$$D_{\text{chaîne}} = \frac{1}{\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} + \dots + \frac{1}{D_n}}$$

D_i : disponibilité de l'unité

La faiblesse d'une seule unité pénalise lourdement l'ensemble.

Exemple :

Quelle est la disponibilité d'une chaîne composée de 10 unités dont la disponibilité de chaque unité est de 99%

Réponse : $D_{\text{chaîne}} =$

6.11. Exercice de disponibilité des systèmes en série

Quelle est la disponibilité d'une chaîne composée de 10 unités donc la disponibilité de 9 unités de 99% et celle de la dernière unité est de 80%

6.12. Vision TPM de la disponibilité

La philosophie traite la disponibilité sur une base comparative avec le rendement optimum d'un équipement. Ainsi, la disponibilité devient le rapport entre temps de fonctionnement auquel on retire toutes les pertes pour mettre le temps utile en numérateur que l'on divise par le temps total d'utilisation. À cette disponibilité, on calcule le rendement total qui devient la nouvelle « disponibilité TPM » ou taux de rendement synthétique.

6.12.1.1. Calcul des taux de rendement:

La disponibilité standard ne tient pas compte de :

- ?? Arrêts machines, pannes, changements d'outils ...
- ?? Écarts de performance, incidents mineurs, cadence
- ?? Non-qualité, rebuts, rejets ...

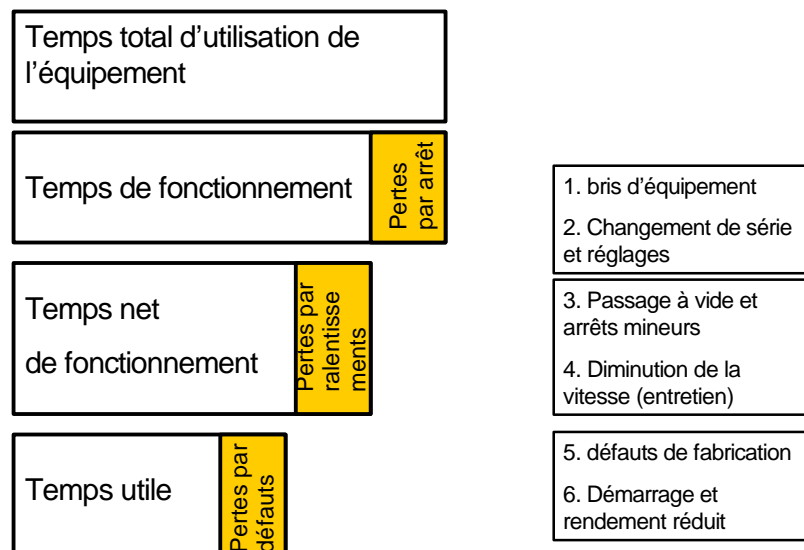
Ainsi, le rendement devient :

Le taux de rendement synthétique, $TRS = D \times P \times Q \times F$

P= taux de performance = temps cycle théorique/temps cycle réel

Q= taux de qualité = % de defectueux

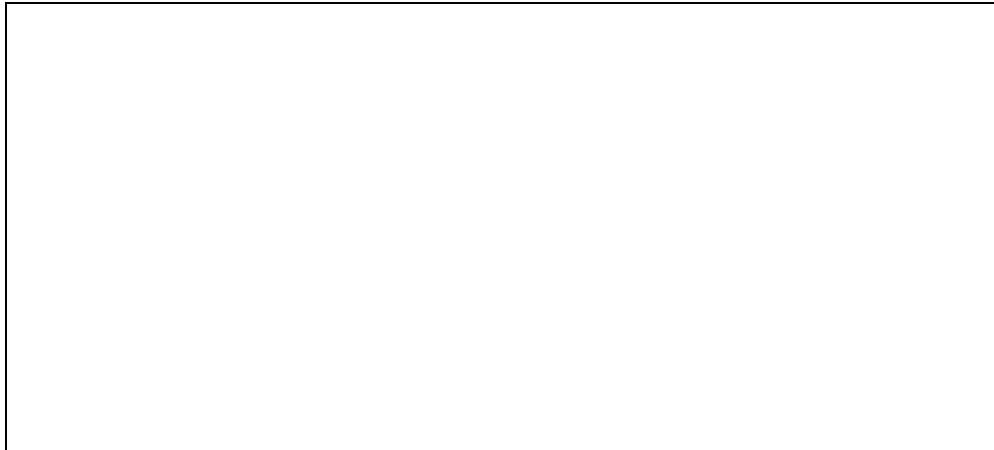
F= taux fonctionnement = (qté produite x cycle réel)/(temps utile)



Exemple de calcul rendement:

Soit un équipement avec le profil d'exploitation quotidien de 8 heures par jours avec 20 minutes de pause. Durant la journée, il s'est produit 20

minutes de panne, 20 min. de changement de fabrication, 20 min. de réglage. Le temps de cycle théorique est de 0.5 min et le temps de cycle réel d'opération est de 0.8 min. La production de la journée est de 400 pièces. La quantité de matériel défectueux est de 2%. Calculer le rendement de cet équipement



6.13. Exercice de calcul de la disponibilité

On tire d'un équipement qui fonctionne 16h/jour, 20 jours/mois, les données suivantes au cours du dernier mois :

- ?? 6 bris qui occasionnent des arrêts d'une durée moyenne de 3.5 heures
- ?? 3 bris qui nécessitent une diminution de cadence de 20% pour 6 heures
- ?? Au bout du mois, on comptabilise 3% de défauts
- ?? On a procédé à 4 changements de production pour des pertes de production de 8 heures.

1. Calculer le MTBF de cet équipement
2. Calculer le MTTR
3. Calculer la disponibilité normale de cet équipement
4. Calculer le rendement (disponibilité version TPM) de cet équipement.

6.14. Exercice d'application de la distribution de Weibull

6.14.1. Cas exponentiel

Si la MTBF d'un produit électrique est de 875 heures, quelle sera la probabilité que ce produit brise avant 245 H

$X = 245$

$MTBF = ? = 875$

6.14.2. Cas normal

Un équipement mécanique qui se situe dans la zone d'usure possède un MTBF de 480 heures avec un écart-type de 15 heures. En vous basant sur un critère économique, déterminer la fréquence optimale de MP.

Vous savez aussi que l'équipement travaille 24 h/jour, 5 jours/semaines, et 48 semaines/an. Le coût de la main d'œuvre est de 75\$/h et la production est estimée à 400\$/h. De plus, vous estimez que 75% des bris sont mineurs et 25% sont majeurs. Un bris mineur prend en moyenne 2 h de temps et coûte 300\$ en composantes de remplacement. Par contre, un bris majeur nécessite 14h pour le réparer et coûte 2600\$ en pièces. Vous estimez qu'une maintenance préventive prendra 2.5h et coûtera 250\$.

Exercice synthèse

Cette étude de cas est fictive. Une entreprise spécialisée dans le service mécanique sur appel, possède une flotte de onze véhicules servant au service routier. Les camionnettes, des FORD F-250 sont toutes de la même année soit 1990 et sont entretenues par l'atelier d'entretien de l'entreprise. Un historique des bris est cumulé pour les années de service et chacune des défaillances est enregistrée sur le "carnet de bord" de chaque véhicule. Ces véhicules devront être renouvelés sous peu et on se propose de définir une politique de maintenance pour la nouvelle flotte de véhicules.

Objectif du travail :

- ?? Déterminer les points faibles des véhicules afin de diminuer les coûts et l'indisponibilité ;
- ?? Déterminer les fréquences économiques d'entretien ;

Démarche générale

- ?? Analyser l'historique ;
- ?? Recenser le nombre de défaillances par véhicule ;
- ?? Analyser les défaillances par sous-groupe codés ;
- ?? Dédurre les éléments de fiabilité ;

Travail à faire

1. Évaluer s'il y a un ou des véhicules qui devraient être exclus de l'analyse pour des conditions d'utilisations différentes. Utiliser les méthodes vues en statistiques pour justifier la décision.
2. Compléter la grille d'analyse, en vous basant sur l'historique.
3. Élaborer une vue d'ensemble de l'échantillon à l'aide de graphiques appropriés (diagramme en bâton). Soit :
 - ?? les pannes les plus fréquentes ;
 - ?? les temps d'intervention consacrés à chaque panne ;
 - ?? La maintenabilité de chaque composante en utilisant les codes appropriés ;
 - ?? La fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de chaque véhicule en utilisant les codes appropriés ;
4. Faire une critique de l'historique (journal de bord) des véhicules et des résultats.
5. Tracer la courbe de fiabilité pour la flotte de véhicules.

Carnet de bord des véhicules

Numéro véhicule	Date	Kilomètres compteur	Mois au moment de l'étude)	Type de défaut	Code	Durée (heure) Réparation
1	2-1990	7890	34	Amortisseurs	8	5
1	3-1990	8676		Freins	5	7
1	9-1990	27391		Embrayage	3	10
1	9-1990	27391		Circuit électrique	4	2
1	3-1991	48720		Pompe à essence	1	1
1	10-1991	75622		Freins	5	7
1	8-1992	110960		Cardans	8	10
1	12-1992	117920		Batterie	4	0,5
2	3-1990	8790	32	Amortisseurs	8	6
2	3-1990	8790		Freins	5	8
2	6-1990	27922		Cardans	8	8
2	6-1990	27922		Démarrreur	4	4
2	8-1990	37812		Embrayage	3	12
2	8-1992	100920		Boîte	7	12
2	11-1992	103920		Batterie	4	0,5
3	1-1991	8787	14	Amortisseurs	8	5
3	3-1992	18732		Freins	5	7
4	3-1990	4890	22	Amortisseurs	8	4
4	5-1990	17947		Embrayage	3	12
4	5-1990	17947		Essuie-glace	2	2
4	3-1991	57900		Amortisseurs	8	5
4	8-1991	77212		Circuit électrique	4	4
4	1-1992	103821		Batterie	4	0,5
5	4-1990	6990	21	Embrayage	3	11
5	6-1990	14029		Cardans	8	10
5	5-1991	87512		Freins	5	8
5	1-1992	102921		Batterie	4	0,5
6	3-1990	6970	22	Circuit électrique	4	5
6	4-1991	12341		Amortisseurs	8	6
6	1-1992	43711		Freins	5	8
7	5-1990	6811	18	Circuit électrique	4	5
7	6-1990	17912		Amortisseurs	8	3
7	6-1990	101772		Freins	5	6
7	7-1991	107 911		Boîte	6	10 h
7	9-1991	110 712		Freins	5	4
7	11-1991	111 910		Batterie	4	0,5
8	2-1990	8910	27	Amortisseurs	8	7
8	2-1990	8910		Portière	2	2
8	3-1990	11610		Portière	2	1
8	5-1990	14821		Amortisseurs	8	9
8	7-1990	18712		Portières	2	2
8	8-1990	22222		Cardans	8	8
8	9-1990	26714		Embrayage	3	6
8	11-1990	28927		Radiateur	1	3
8	3-1991	26911		Amortisseurs	8	10
8	3-1991	36911		Boîte	6	10

8	6-1991	41927		Amortisseurs	8	8
8	9-1991	58711		Boîte	6	10
8	9-1991	58711		Embrayage	3	12
8	1-1992	66990		Amortisseurs	8	7
8	1-1992	77820		Démarreur	4	6
9	3-1990	7790	18	Allumage	4	4
9	6-1990	19911		Démarreur	4	1
9	10-1990	37525		Amortisseurs	8	6
9	5-1991	87812		Amortisseurs	8	5
9	8-1991	97912		Circuit	4	3
9	9-1991	102 800		électrique	5	6
9	9-1991	103 800		Freins	8	8
				Cardans		
10	3-1990	5582	19	Boîte	6	12
10	10-1991	64712		Embrayage	3	15
11	3-1990	26821	17	Amortisseurs	8	5
11	10-1990	65912		Embrayage	3	12
11	2-1991	77915		Amortisseurs	8	5
11	6-1991	91218		Amortisseurs	8	3
11	8-1991	97990		Freins	5	6
12	2-1992	3125	22	Circuit élect.	4	2
12	3-1992	3998		Circuit élect.	4	2
12	4-1992	5111		Circuit élect.	4	1,5
12	4-1992	5222		Moteur	1	1
12	4-1992	5340		Boîte de vitesse	6	2
12	6-1992	8212		Circuit élect.	4	2
12	8-1992	12410		Moteur	1	1
12	8-1992	12810		Circuit élect.	4	2

véhicules	KM déclassement	mois	qté de panne
1	118000	34	8
2	119000	32	7
3	19000	14	2
4	104000	22	6
5	103000	21	4
6	44000	22	3
7	112000	18	6
8	78000	27	15
9	104000	18	7
10	65000	19	2
11	100000	17	5
12	15000	22	8

Corrigés

6.15. Exercice de calcul des indices

opération (h)	TBF	TTR
2558	2558	15
3525	967	11
4527	1002	12
5525	998	14
6517	992	
Moyenne		

disponibilité

6.16. Exercice de calcul rendement:

Soit un équipement avec le profil d'exploitation quotidien de 8 heures par jours avec 20 minutes de pause. Durant la journée, il s'est produit 20 minutes de panne, 20 min. de changement de fabrication, 20 min. de réglage. Le temps de cycle théorique est de 0.5 min et le temps de cycle réel d'opération est de 0.8 min. La production de la journée est de 400 pièces. La quantité de produits défectueux est de 2%. Calculer le rendement de cet équipement

Temps total de fonctionnement :	$60\text{min.} \times 8\text{h} = 480\text{min.}$
Temps total d'utilisation :	$480\text{min.} - 20\text{ min (pause)} = 460\text{ min}$
Temps de fonctionnement :	$460 - 20\text{ min(changement de fab)- } 20\text{min (pannes)- } 20\text{min. (réglage)} = 400\text{ min.}$
Disponibilité normale:	$400\text{min}/460\text{ min} = 87\%$
Perte par passage à vide :	$400\text{pièces}/400\text{min} = 1\text{ pièce/min}$ Cycle réel = 0.8 min donc 0.2 min
Perte de ralentissement :	$0.8\text{ min}-0.5\text{ min} = 0.3\text{ min}$
Perte net de fonctionnement :	0.5 min
Temps net de fonctionnement :	$0.5\text{ min} * 400\text{ min} = 200\text{ min.}$
Perte de qualité	2%
Disponibilité TPM	$(200\text{min}/460\text{min}) \times 98\% = 42.5\%$

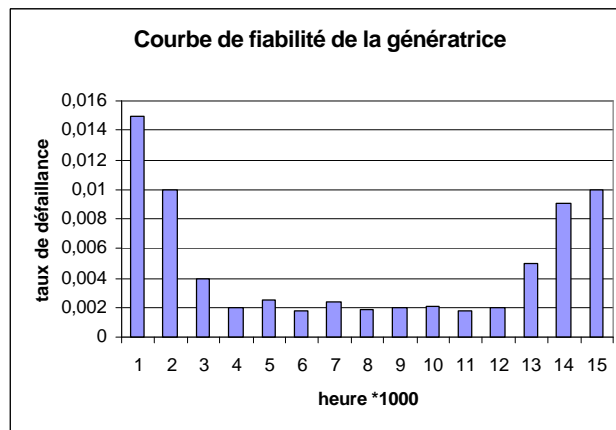
6.17. Exercice de l'estimation de la fiabilité d'un équipement

On étudie une génératrice suite à son déclassement après 16500 heures d'opération. Pendant cette période, la génératrice a cumulé 218 arrêts. On résume les données ainsi.

1. Tracer la courbe de fiabilité
2. Estimer la zone d'usure de la génératrice.

218 arrêts équivalent à 15 classes
 $16500 / 15 = 1000$ heures par classe

Heures	MTBF	taux de défaillance
1000	66,7	0,015
2000	100	0,01
3000	250	0,004
4000	500	0,002
5000	400	0,0025
6000	555,6	0,0018
7000	416,7	0,0024
8000	526,32	0,0019
9000	500	0,002
10000	476,2	0,0021
11000	555,6	0,0018
12000	512	0,0019
13000	200	0,005
14000	111,1	0,009
15000	100	0,01



6.18. Exercice de disponibilité des systèmes en série

Quelle est la disponibilité d'une chaîne composée de 10 unités dont la disponibilité de 9 unités de 99% et celle de la dernière unité est de 80%

$$D_{\text{chaîne}} = 0,75$$

Grille d'analyse pour l'étude de cas

Vous pouvez reproduire sur un tableur cette grille

Code de pannes	TEMPS DE RÉPARATION (TR) / VÉHICULE (hrs)												Nbre / code
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1- Bloc Moteur													
2- Carrosserie													
3- Embrayage													
4- Circuit électrique													
5- Freins													
6- Boîte de vitesse													
7- Direction													
8- Suspension													
Nb de pannes/ véhicule													
TTR (hrs) / véhicule													
MTTR (hrs)													
TBF (hrs) 34 mois													
MTBF (hrs)													
Disponibilité (%)													

N.B.: 1 mois = 170 heures

Grille d'analyse pour la fiabilité

Nombre de classe :

Classe	Nombre de machines encore en fonction	? des temps de fonctionnement	Nb de défaillance