



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

Ce chapitre est le premier, d'une série de trois, consacré à ce que l'on appelle en maintenance le concept « FMD » ; c'est à dire **FIABILITE**, **MAINTENABILITE** et **DISPONIBILITE**.

Les objectifs de ce chapitre seront de déterminer les indicateurs de fiabilité d'un bien pour ensuite proposer des axes de solutions visant à en améliorer sa fiabilité.

1. LE CONCEPT DE FIABILITE

1-1 DEFINITION.

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné (NF EN 13306) ou « caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné » (NF X 60-500).

La notion de temps peut prendre la forme :

- ☐ De nombre de cycles effectués ⇒ **machine automatique**
- ☐ De distance parcourue ⇒ **matériel roulant**
- ☐ De tonnage produit ⇒ **équipement de production**

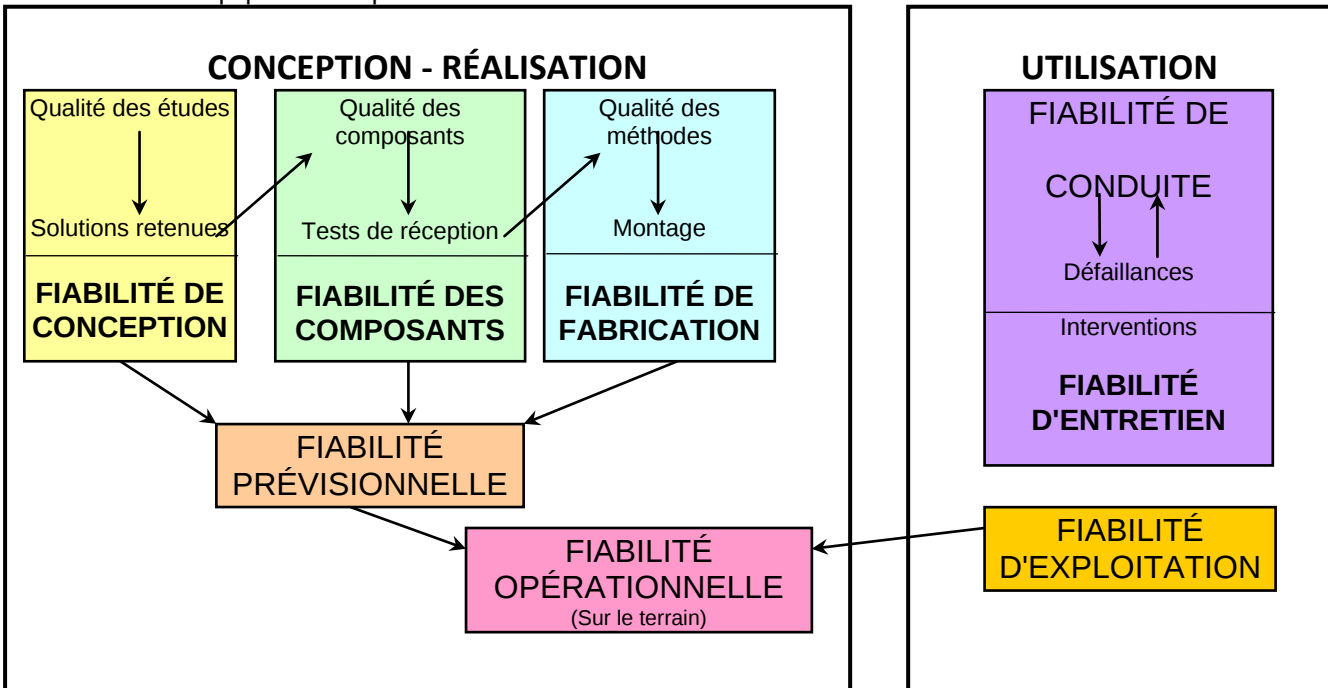
1-2 COMMENTAIRES :

Un équipement est fiable s'il subit peu d'arrêts pour pannes. La notion de fiabilité s'applique :

- ☐ à du système réparable ⇒ **équipement industriel ou domestique.**
- ☐ à des systèmes non réparables ⇒ **lampes, composants donc jetables**

La fiabilité notée $R(t)$ sera exprimée par le taux de défaillance λ (lambda), le temps de fonctionnement t , la M.T.B.F. (temps moyen de bon fonctionnement), la M.T.F.F.(temps moyen jusqu'à la première défaillance) ; M.T.T.F. (durée de vie)

La fiabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :





S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

Lycée Albert EINSTEIN
PÔLE D'ENSEIGNEMENTS

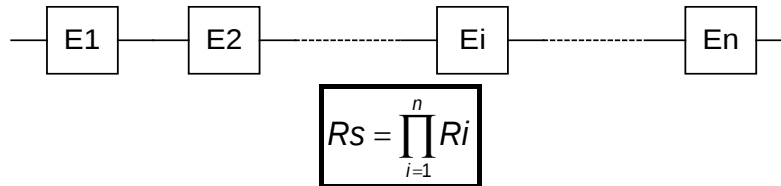
FIABILITE

2. LOIS DE COMPOSITION EN FIABILITE – ASSOCIATIONS DE MATERIELS

Le problème qui se pose à la maintenance au niveau de la fiabilité est son amélioration constante. Il peut pour cela intervenir sur la technologie du composant, agencer les composants ou sous-systèmes de manière à les rendre plus fiables.

2.1 SYSTEME SERIE.

On dit qu'un système est un système série d'un point de vue fiabilité si le système tombe en panne lorsqu'un seul de ses éléments est en panne.



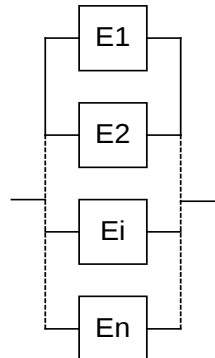
Cette association est caractéristique des équipements en ligne de production.

2.2 SYSTEME PARALLELE.

On dit qu'un système est un système // d'un point de vue fiabilité si, lorsqu'un ou plusieurs de ses éléments tombent en panne, le système ne tombe pas en panne.

2.2.1 Redondance active :

Une redondance active est réalisée par la mise en parallèle d'éléments assurant les mêmes fonctions et travaillant en même temps.



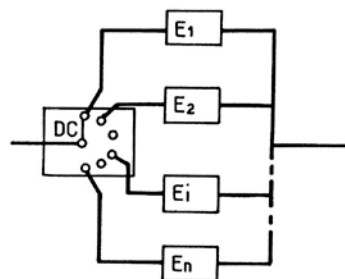
$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

Dans un système //, la fiabilité du système est plus grande que la plus grande des fiabilités des éléments composant le système.

Si on désire effectuer un calcul en fonction du temps, on doit introduire la fonction $R(t)$.

Si $R(t) = e^{-\lambda t}$, alors $R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda t})$.

2.2.2 Redondance passive :



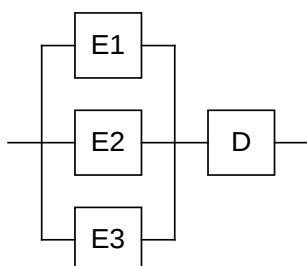
Dans ce cas, un seul élément fonctionne, les autres sont en attente.

Ceci a l'avantage de diminuer ou de supprimer le vieillissement des éléments ne travaillant pas.

En contrepartie, on a l'inconvénient d'être obligé d'avoir un organe de détection des pannes et de commutation d'un système sur un autre.

Le calcul d'un système à redondance passive ou « stand-by » se fait en tenant compte de la variable temps. Il faut donc connaître au préalable, pour chaque composant, son taux de défaillance $\lambda(t)$ et sa loi de fiabilité $R(t)$.

2.2.3 Redondance majoritaire :



La redondance majoritaire est telle que la fonction est assurée si au moins la majorité des éléments est en état de fonctionnement.

Cette redondance concerne surtout des signaux de grande sécurité, et en particulier les équipements électroniques. Le signal de sortie est celui de la majorité des composants.

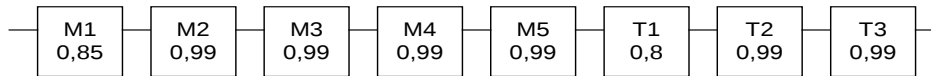
Éléments de cours



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

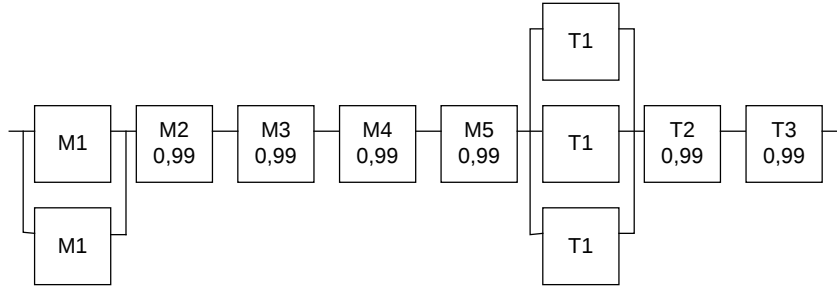
Lycée Albert EINSTEIN
POLE D'ENSEIGNEMENTS

Application : Un processus est représenté par le processus suivant :



La fiabilité globale du système entier est : $R_s = \dots\dots\dots$

Pour améliorer cette fiabilité, on peut appliquer des redondances sur les systèmes les moins fiables : M1 et T1.



$R_s = \dots\dots\dots$

3. APPROCHE DE LA FIABILITE PAR LES PROBABILITES

3.1 RAPPEL DE NOTIONS SUR LES PROBABILITES.

La valeur d'une probabilité est comprise entre 0 et 1 ou entre 0 et 100%.

Probabilité d'un 'événement' : c'est le rapport : $\frac{\text{Nb cas favorables}}{\text{Nb cas possibles}} < 1$

Probabilité qu'un événement se produise + probabilité qu'il ne se produise pas = 1

Définition : Variable Aléatoire

Variable à laquelle on peut associer une probabilité, par exemple : durée d'intervention pour une même anomalie, intervalle entre deux défaillance.

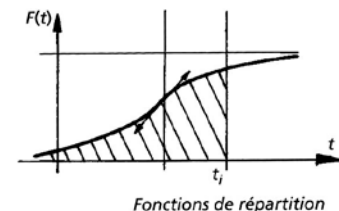
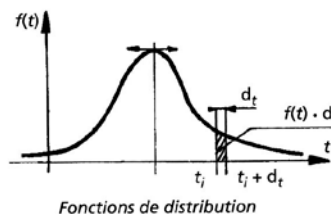
Cette variable pourra être :

- Continue : intervalle entre deux défaillance
- Discontinue (variant par unité entière) : nombre de pièces défectueuses dans un lot. On dit aussi dans ce cas qu'elle est discrète.

Soit une loi de probabilité relative à une VA continue T. Cette loi est caractérisée par sa fonction de distribution (appelée aussi densité de probabilité) $f(t)$ qui représente la probabilité qu'un événement survienne juste au temps t et par sa fonction de répartition $F(t)$ telle que :

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

La fonction $F(t)$ représente la probabilité qu'un événement (défaillance) survienne à l'instant T dans l'intervalle $[0, t]$:
 $F(t) = P(T < t)$



3.2 DEFINITIONS NORMALISEES.

Définition selon la NF X 06-501 : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée.

Un dispositif mis en marche la 1^{ère} fois à $t=0$ tombera inexorablement en panne à un instant T non connu a priori.



FIABILITE

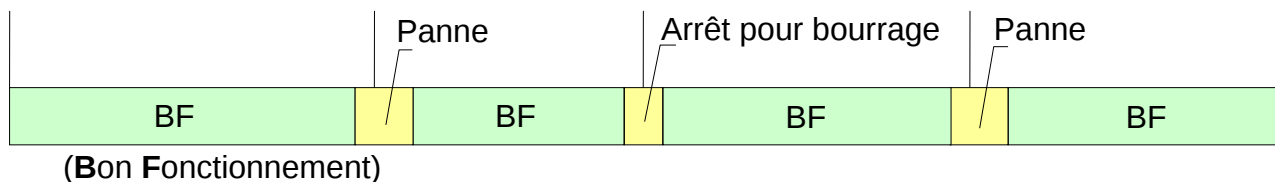
-

3.3.1 M.T.B.F. « Mean Time Between Failure »

Le graphique illustre la loi de Weibull, utilisée pour déterminer la durée de vie moyenne à partir du nombre de défaillances. L'axe horizontal (abscisse) est gradué logarithmiquement et représente le nombre de défaillances (Nb de défaillances), allant de 1 à 100. L'axe vertical (ordonnée) est également gradué logarithmiquement et représente la probabilité de défaillance, allant de 0,1 à 1. Plusieurs courbes de probabilité sont tracées, correspondant à des valeurs de β (0,3, 0,6, 0,90, 0,95, 0,98, 0,99, 0,995). La courbe pour $\beta = 0,90$ est mise en évidence. La durée de vie moyenne est déterminée en lisant la valeur sur l'axe vertical correspondant au nombre de défaillances sur l'axe horizontal.

La valeur du MTBF à retenir pour définir une périodicité d'intervention est à corriger par un coefficient k , en fonction du nombre de défaillances considéré et du niveau de confiance souhaité (on prend généralement 0,90)

0 h 1 h 1/2 h 1 h 24 h



M.T.B.F.

$$\frac{1}{M.T.B.F.} = \text{taux de défaillance ramené à l'unité de temps}$$

3.3.3 I (t) « Fonction du taux de défaillance ou taux d'avarie »



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

Lycée Albert EINSTEIN
POLE D'ENSEIGNEMENTS

FIABILITE

Probabilité de subir une défaillance à l'instant t pour un dispositif ayant vécu jusqu'à l'instant t , exprimé en défaillance par unité d'usage (généralement pannes / heure)

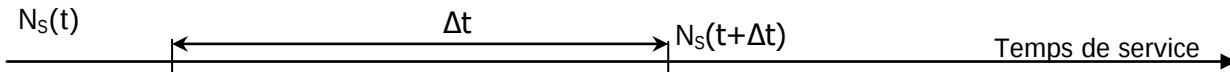
$$\lambda(t) = \frac{\text{nombre de défaillants sur un intervalle de temps}}{\text{nombre de survivants au début de la période} \times \text{intervalle de temps}}$$

Calcul de $\lambda(t)$ avec

N_0 nombre initial de dispositif

$N_s(t)$ nombre de survivants à l'instant t

$C(\Delta t)$ nombre de défaillants pendant Δt soit $N_s(t) - N_s(t+\Delta t)$



Si défaillants remplacés : $\lambda(t) = \frac{C(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}$ Si défaillants non remplacés : $\lambda(t) = \frac{C(\Delta t)}{N_s(t) \cdot \Delta t}$

Applications :

Cas N°1 : les défectueux sont remplacés. Une étude a été menée sur 70 véhicules pendant une période allant de 80000km à 90000km. 41 défaillances ont été réparées. Déterminer le taux de défaillance pour cette période.

Cas N°2 : les défectueux ne sont pas remplacés. On teste un lot de 50 électrovannes soumises en continu à 8 impulsions par minute. A la 50^{ème} heure, il en reste 33. A la 60^{ème} heure, il en reste 27. Déterminer le taux de défaillance sur cette classe, par heure et par impulsion.

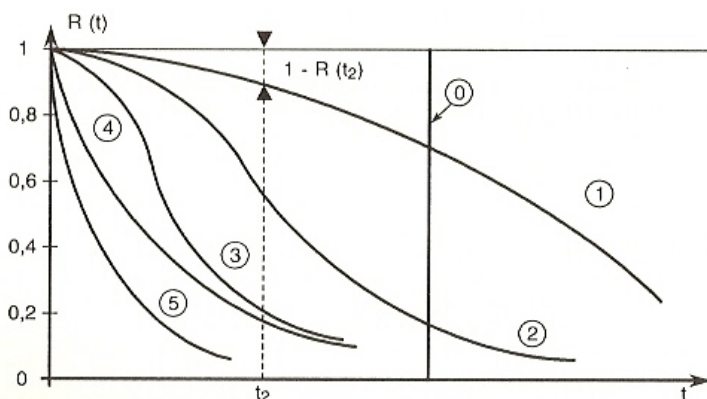
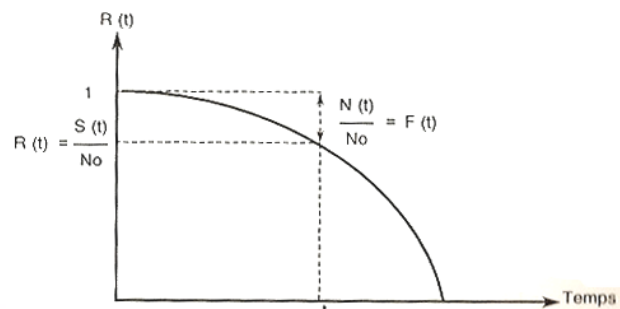
3.4 EXPRESSION GRAPHIQUE DE LA FIABILITE.

3.4.1 Courbe de survie :

Soit un échantillon de N_0 éléments en bon état de marche à l'instant 0 du début de l'étude. A l'instant t , en fonction du nombre total des défaillances N survenues, le nombre d'éléments survivants sera :

$N_0 - N(t) = S(t)$; la courbe $S(t)$ est la « courbe de survie »

On peut porter en ordonnées, au lieu du nombre de survivants, le rapport : $R(t) = \frac{\text{nombre de survivants}}{N_0}$



Courbe (0) : dégradation par usure ou vieillissement parfait, ce qui ne se trouve pas en réalité.

Courbes (1), (2), (3) processus de défaillance dans lesquels prédomine le vieillissement ou l'usure.

Courbe (5) : période de jeunesse avec grand nombre de défaillances (mise au point, déverminage, rodage...)

Courbe (4) : défaillances de cause aléatoire indépendantes entre elles et indépendantes du temps.

3.4.2 Fonction taux de défaillance :

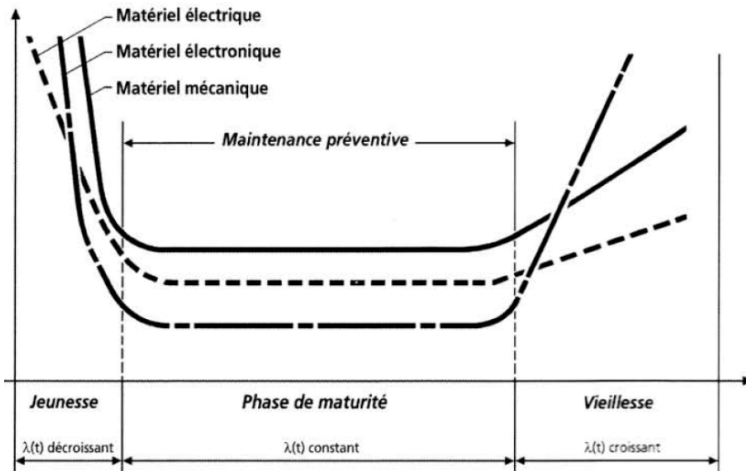
Éléments de cours



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

Lycée Albert EINSTEIN
PÔLE D'ENSEIGNEMENTS

La variation de $\lambda(t)$ représente l'évolution du cycle de vie de l'équipement (courbe en baignoire)



Période 1 : **Jeunesse** - soumis à des défaillances précoces – maintenance préconisée : correctif – correspond au rodage (méca) ou déverminage (élec)

Période 2 : **Maturité** - $\lambda(t)$ constant – soumis à des défaillances aléatoires – maintenance préconisée : correctif + visites préventives

Période 3 : **Obsolescence** (vieillesse) – soumis à des défaillances d'usure – maintenance préconisée : préventif systématique

4. Principales lois de probabilités utilisées en fiabilité

4-1 Les lois de survie

Pour évaluer la fiabilité d'un produit, il est nécessaire de savoir comment il devient défaillant dans le temps : la loi de survie le précise.

4-1.1 Echantillonnage des données si $N > 50$:

- Regrouper les données en K classes. L'intervalle de classe est égal à Δt et $K = \sqrt{N}$,
- n_i ($1 \leq i \leq K$) représente l'effectif de la classe i .

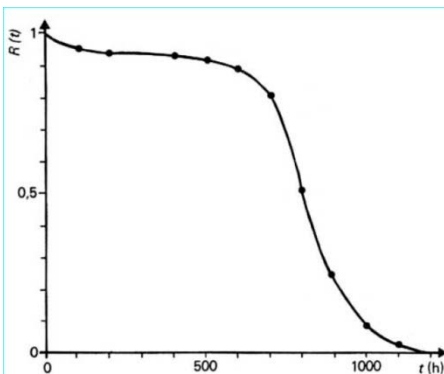
4-1.2 Détermination des Indicateurs de Fiabilité :

- $Ft_i = \frac{\sum n_i}{N}$ $\sum n_i$ = somme des effectifs des classes entre 0 et t (fin de classe i)
- $Rt_i = 1 - Ft_i$
- $\lambda t_i = \frac{n_i}{(N - \sum^* n_i) \cdot \Delta t}$ $\sum^* n_i$ = somme des effectifs des classes entre 0 et t (début de classe i)
- $MTBF = \frac{1}{N} (\sum_1^K t_i \cdot n_i)$ t_i = valeur centrale de la classe i

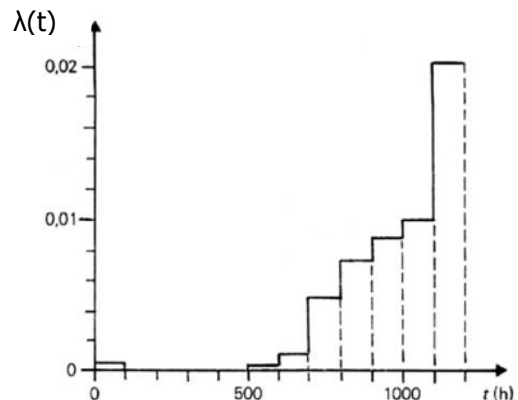
4-1.3 Représentation graphique :

F_t et R_t sont représentées par le polygone des fréquences cumulées.

λ_t est représenté par un histogramme



Fiabilité $R(t)$ en fonction de la durée de l'essai, ou **loi de survie**



Application :

Etude de Fiabilité réalisée sur un moteur de camion. Entreprise GENERAL-TRUCK



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

4.2 La loi Exponentielle.

Cette loi est utilisée pour les périodes où le taux de défaillance est constant.

4-2.1 Détermination des Indicateurs de Fiabilité :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(u).du} \text{ et comme } \lambda(u) = cte = \lambda$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda.du} = \left[e^{-\lambda.u} \right]_0^t = e^{-\lambda.t}$$

$$R_t = e^{-\lambda.t}$$

$$F_t = 1 - R_t$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

4-2.2 Durée de vie associée à un seuil de fiabilité :

Il est intéressant de savoir à quel instant la fiabilité atteindra un seuil déterminé.

$$R(t) = e^{-\lambda.t} \Rightarrow \ln R(t) = -\lambda.t \Rightarrow t = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln R(t) \Rightarrow t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{1}{R(t)}$$

Application :

Un composant a une MTBF de 2000 heures. A quelle date « tj » ce composant aura une fiabilité de 90% ?

.....
.....
.....

4-2.3 Ajustement d'un échantillon : L'échantillon étudié comporte N données

Méthode particulièrement adaptée aux lois Exponentielle et Weibull.

On établit un tableau comportant les correspondances suivantes :

- t_i : valeur de la donnée, en général des TBF,
- $R_t = 1 - F_t$: valeur de la fonction fiabilité correspondante (approximée couvrant le nombre de données que l'on possède)

Rang i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_{t_i}	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
t_i	13	14	18	21	26	26	35	55	80	124
$\sum ni$	13	27	45	66	92	118	153	208	288	412

L'estimation de F_{t_i} dépend du nombre de données et est calculée par :

Nbr de données N	20		50	
Prise en charge des données	Données t_i classées par ordre croissant (un rang i est affecté à chaque données)		Données rangées par classe t_i	
Estimation de F_{t_i}	$\frac{i - 0,3}{N + 0,4}$ méthode des rangs médians		$\frac{i}{N + 1}$ méthode des rangs moyens	
			$\frac{\sum ni}{N}$ ni : effectif de la classe i	

4-2.4 Représentation graphique :

Si $R(t) = e^{-\lambda.t}$, alors $\ln R(t) = -\lambda.t$ en logarithmes népériens et $\log R(t) = \frac{-\lambda.t}{2,3}$ en logarithmes décimaux.



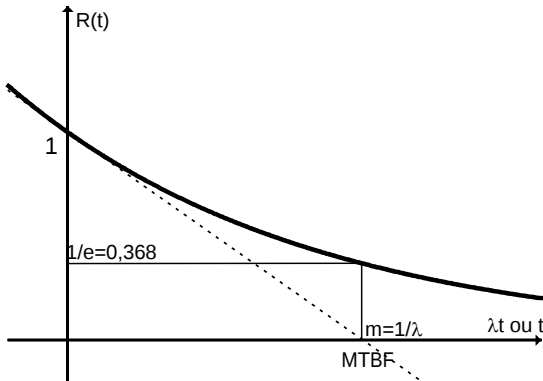
S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

Lycée Albert EINSTEIN
POLE D'ENSEIGNEMENTS

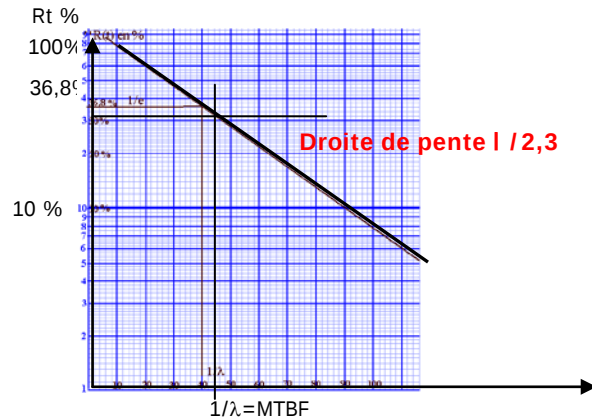
Porter les couples de points (t_i ; R_i) sur un papier semi logarithmique (t_i sur l'axe des abscisses en échelle arithmétique et R_i sur l'axe des ordonnées en échelle logarithmique).

Si les couples de points sont sensiblement alignés alors le modèle est exponentiel et l'hypothèse taux de défaillance constant est vérifié.

Loi exponentielle sur échelle linéaire



Loi exponentielle sur papier semi logarithmique



4-2.5 Estimation du taux de défaillance :

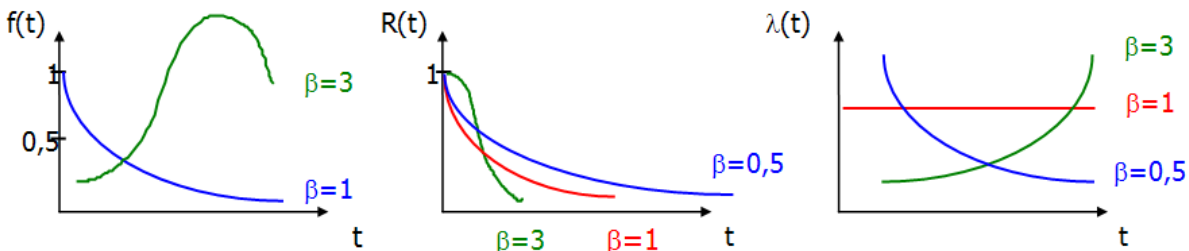
- Porter sur papier semi logarithmique les N points formés des couples (t_i , R_i)
- Tracer la courbe de régression des N points
- Si les N points sont sensiblement alignés, alors la loi de fiabilité est exponentielle
- Pour $R=36,8$, déterminer $1/\lambda$ en déduire λ

2-1 La loi de Weibull.

4-3.1 Paramètres de la loi

C'est une loi de fiabilité à 3 paramètres qui permet de prendre en compte les périodes où le taux de défaillance n'est pas constant (jeunesse et vieillesse). Cette loi permet :

- Une estimation de la MTBF
- Les calculs de $\lambda(t)$ et de $R(t)$ et leurs représentations graphiques
- Grâce au paramètre de forme β d'orienter un diagnostic, car β peut être caractéristique de certains modes de défaillance



β : Paramètre de forme >0 sans dimension:

- Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse
 - o $1,5 < \beta < 2,5$: fatigue
 - o $3 < \beta < 4$: usure, corrosion
- Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité
- Si $\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse

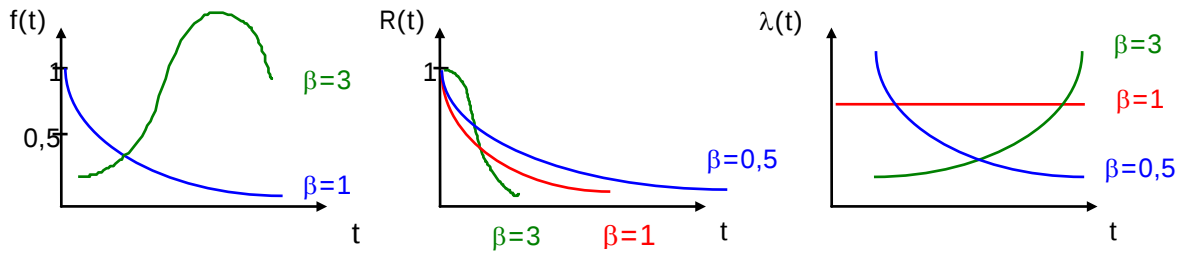
FIABILITE

Éléments de cours



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

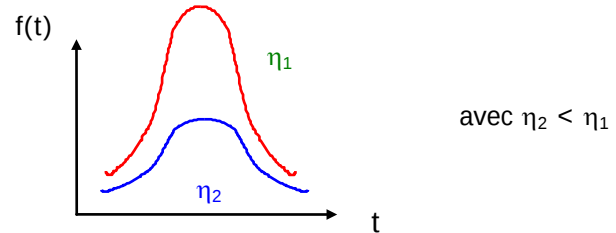
Lycée Albert EINSTEIN
POLE D'ENSEIGNEMENTS



Remarque : pour $\gamma=0$ et $\beta=1$, on retrouve la distribution exponentielle, cas particulier de la loi de Weibull :

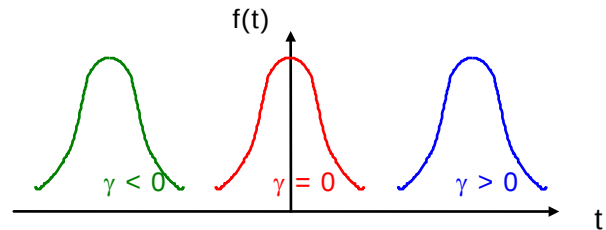
$$\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$$

η : Paramètre d'échelle >0 qui s'exprime dans l'unité de temps



γ : paramètre de position, $-\infty < \gamma < +\infty$, qui s'exprime dans l'unité de temps :

- $\gamma > 0$: survie totale sur l'intervalle de temps $[0, \gamma]$
- $\gamma = 0$: les défaillances débutent à l'origine des temps
- $\gamma < 0$: les défaillances ont débuté avant l'origine des temps ; ce qui montre que la mise en service de l'équipement étudié a précédé la mise en historique des TBF



Relations fondamentales :

- Densité de probabilité : $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$ avec $t \geq \gamma$
- Fonction de répartition : $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$
- Loi de fiabilité : $R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$

Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \cdot \frac{1}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

MTBF et écart type :

$$E(t) = MTBF = A\eta + \gamma$$

$$\sigma = B\eta$$

Où A et B sont des paramètres issus de tables.

Ex : pour $\beta=1,2$, $\gamma=0$ et $\eta=550$ heures.



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

Lycée Albert EINSTEIN
POLE D'ENSEIGNEMENTS

FIABILITE

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,20	120	1901	1,50	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,30	9,2605	50,08	1,60	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,40	3,3234	10,44	1,70	0,8922	0,540	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,230
0,50	2	4,47	1,80	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,60	1,5046	2,65	1,90	0,8874	0,486	4,8	0,9160	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,70	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,210
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,80	1,1330	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,0880	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,200
0,90	1,0522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,380	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9603	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,188
1,10	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9260	0,185
1,15	0,9517	0,830	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,20	0,9407	0,787	3	0,8930	0,325	6	0,9277	0,180
1,25	0,9314	0,750	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,30	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,9170	0,687	3,3	0,8970	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,40	0,9114	0,660	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9310	0,170
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,9340	0,161
			3,9	0,9051	0,260	6,9	0,9347	0,160

Durée de vie associée à un seuil de fiabilité :

Il est intéressant de savoir à quel instant la fiabilité atteindra un seuil déterminé, en particulier les roulements à billes.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \Rightarrow \ln R(t) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \Rightarrow \ln \frac{1}{R(t)} = \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta \Rightarrow \frac{t-\gamma}{\eta} = \left(\ln \frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{\beta}} \Rightarrow t = \eta \cdot \left(\ln \frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{\beta}} + \gamma$$

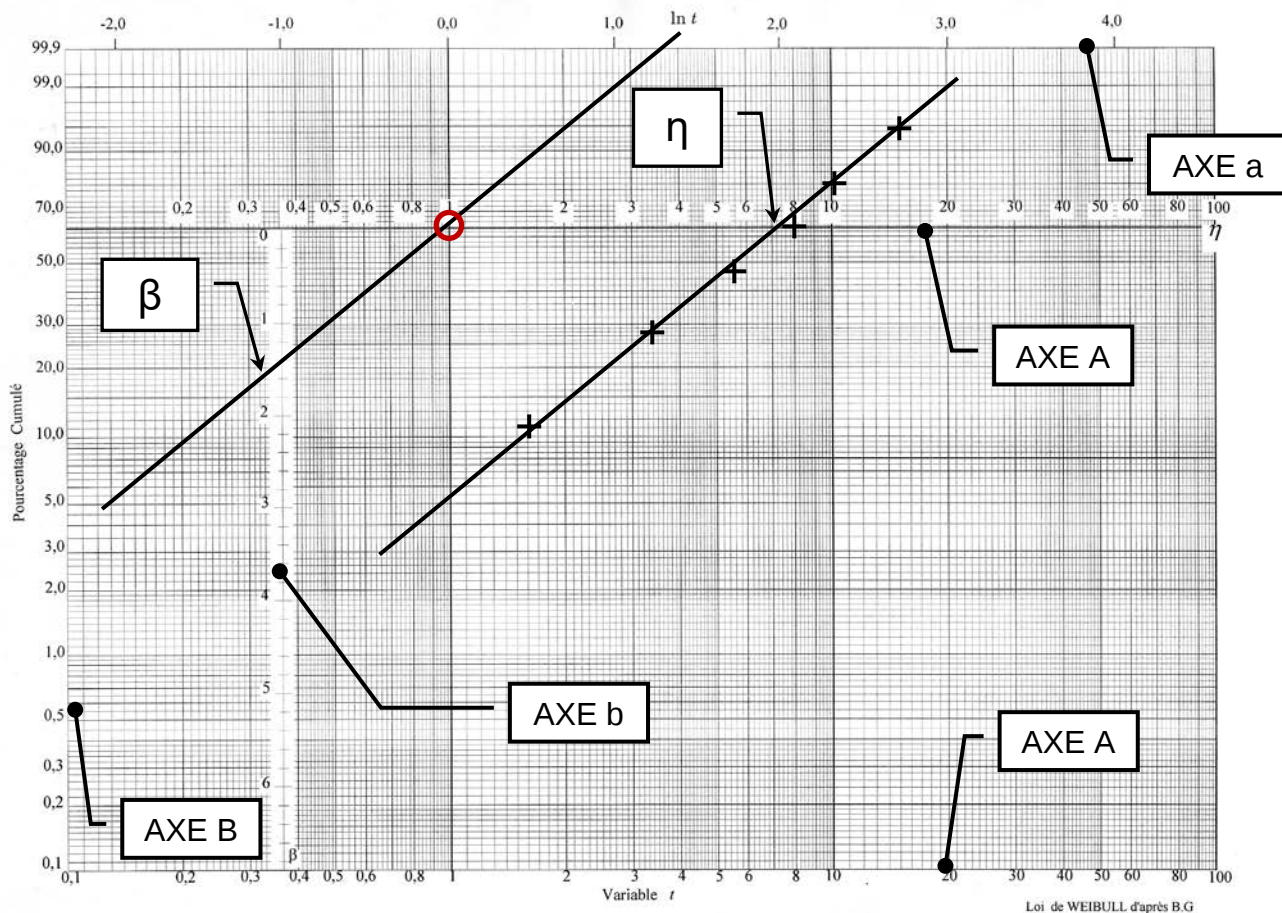


S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

Lycée Albert EINSTEIN
PÔLE D'ENSEIGNEMENTS

FIABILITE

Papier Weibull ou graphique d'Allen Plait :



- Axe A : axe des temps sur lequel on porte les valeurs t_i des TBF
- Axe B : valeurs des probabilités de défaillance F_i calculées par la méthode des rangs moyens ou des rangs médians. On estime $R(t)$ par $R(t) = 1 - F(t)$
- Axe a : axe des temps en logarithmes népériens : $\ln(t)$
- Axe b : axe qui permet l'évaluation de β

Détermination graphique des paramètres de la loi :

1. Préparation des données : détermination des couples (t_i, F_i) par les rangs moyens ou les rangs médians
2. Tracé du nuage de points
3. Tracé de la droite de Weibull
4. Détermination de β , η , γ
5. Détermination des équations de la loi de Weibull
6. Calcul de la MTBF
7. Exploitation des données issues de la loi

Éléments de cours



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

Lycée Albert EINSTEIN
PÔLE D'ENSEIGNEMENTS

FIABILITE

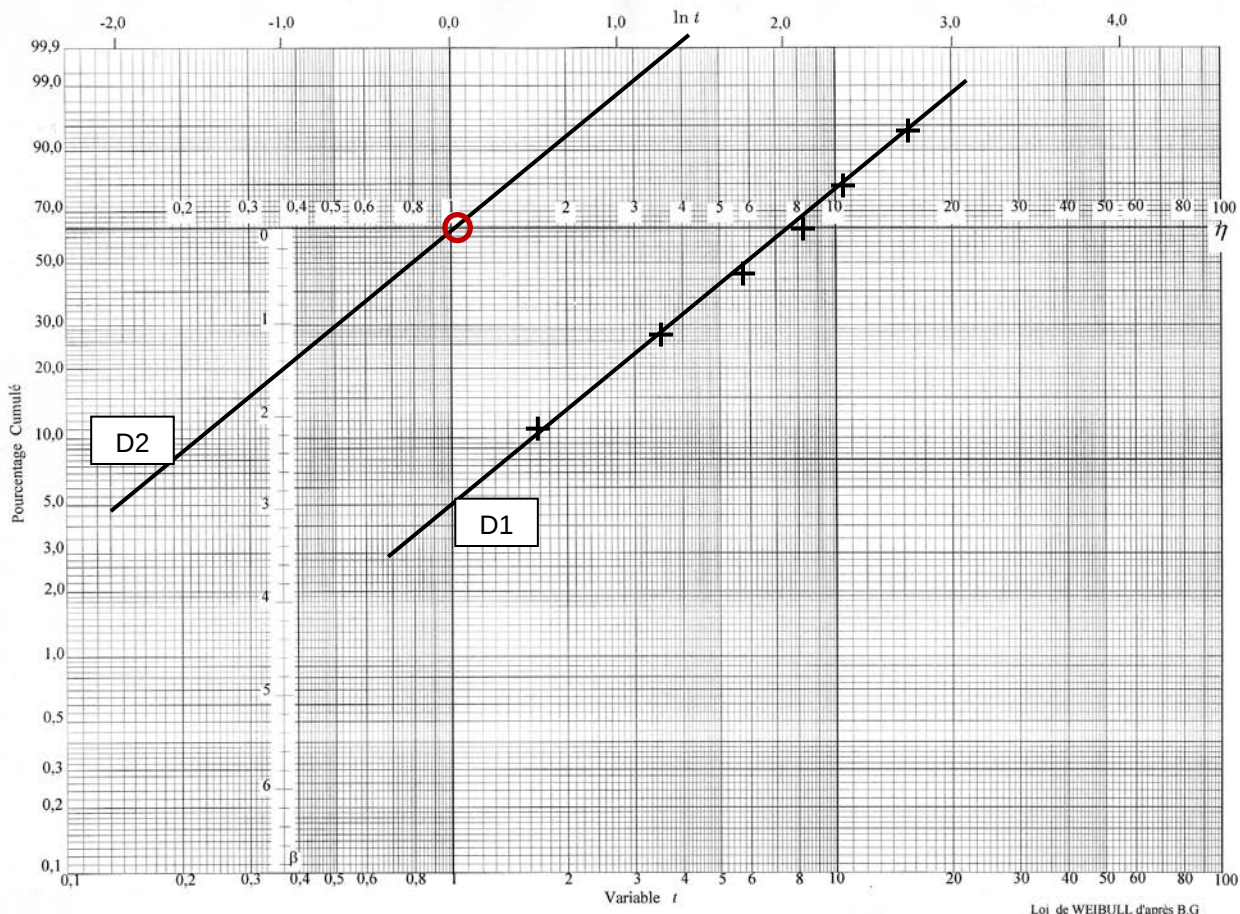
4-3.2 Exemple d'application : temps de bon fonctionnement d'une grenailleuse

515	740	165	915	1320	330
-----	-----	-----	-----	------	-----

1. Préparation des données :

Ordre i	TBF	Fi
1	165	
2	330	
3	515	
4	740	
5	915	
6	1320	

2. Tracé du nuage de points :



3. Tracé de la droite de Weibull D1 : le tracé se fait sans difficulté « au jugé ».

4. Détermination des paramètres de la loi :

Le fait d'obtenir directement une droite D1 sans faire de redressements indique que $\gamma=0$

La droite D2 // à D1, passant par l'origine coupe l'axe « b » en un point $\beta=1,4$.

La droite D1 coupe l'axe des temps à $t=\eta=770$ heures. C'est le paramètre de la loi de Weibull

5. Equations de la loi :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{770}\right)^{1,4}}$$

Éléments de cours



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

Lycée Albert EINSTEIN
POLE D'ENSEIGNEMENTS

Détermination de la MTBF :

Les tables annexes donnent les valeurs de A et B pour $\beta=1,4$: $A=0,911$ et $B=0,660$. On en déduit $MTBF = A\eta + \gamma = 0,911 \times 770 = 700$ heures et $\sigma = B\eta = 0,660 \times 770 = 508$ heures.

4-3.3 Optimisation d'une période d'intervention systématique :

La question qui revient sans cesse dans un service maintenance pour un équipement est : faut-il choisir de garder le correctif ou de mettre en œuvre un préventif systématique ? Pour répondre à cette question, il existe plusieurs outils (abaques de Noiret par exemple) dont l'utilisation de la loi de Weibull.

La mise en pratique de cette loi va permettre de répondre aux 2 questions suivantes :

- Existe-t-il une période d'intervention systématique T telle que la maintenance préventive soit plus économique que la maintenance corrective ?
- Si oui, quelle est cette période optimisée θ ?

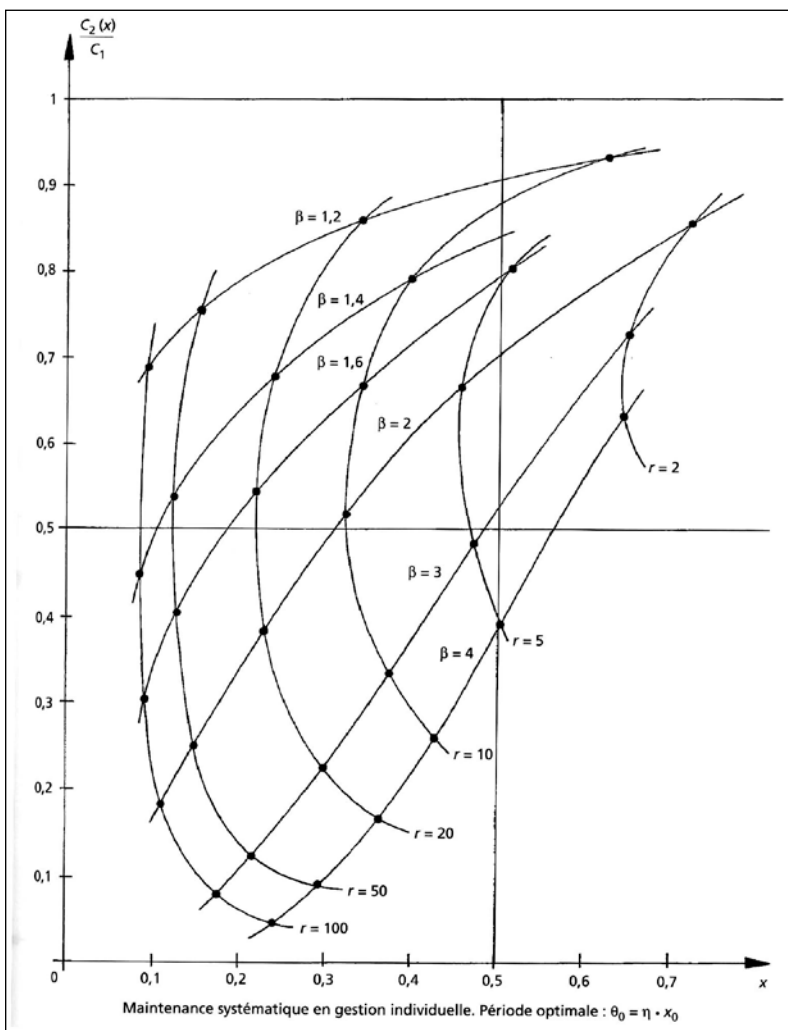
Cet outil d'optimisation sera nommé **outil « r, β »**.

Mise en œuvre de la méthode :

Sur un système réparable, dont un constituant « fragile » est interchangeable, comment faire pour déterminer la période θ de remplacement préventif ?

Il faut en 1^{er} lieu connaître :

- La loi comportementale $R(t)$ du constituant
- Le coût « p » du correctif
- Le coût indirect « P » des conséquences de la défaillance



On appellera $r=P/p$ le ratio de « **criticité économique** » de la défaillance. Domaine de validité : $2 < r < 100$.

Application :

Dans le cas précédent, nous avons trouvé $\beta=1,4$; $\eta=770$

Pour cette grenailleuse le ration de criticité économique est estimé à 2,8.



S9- Stratégie & Organisation de la maintenance

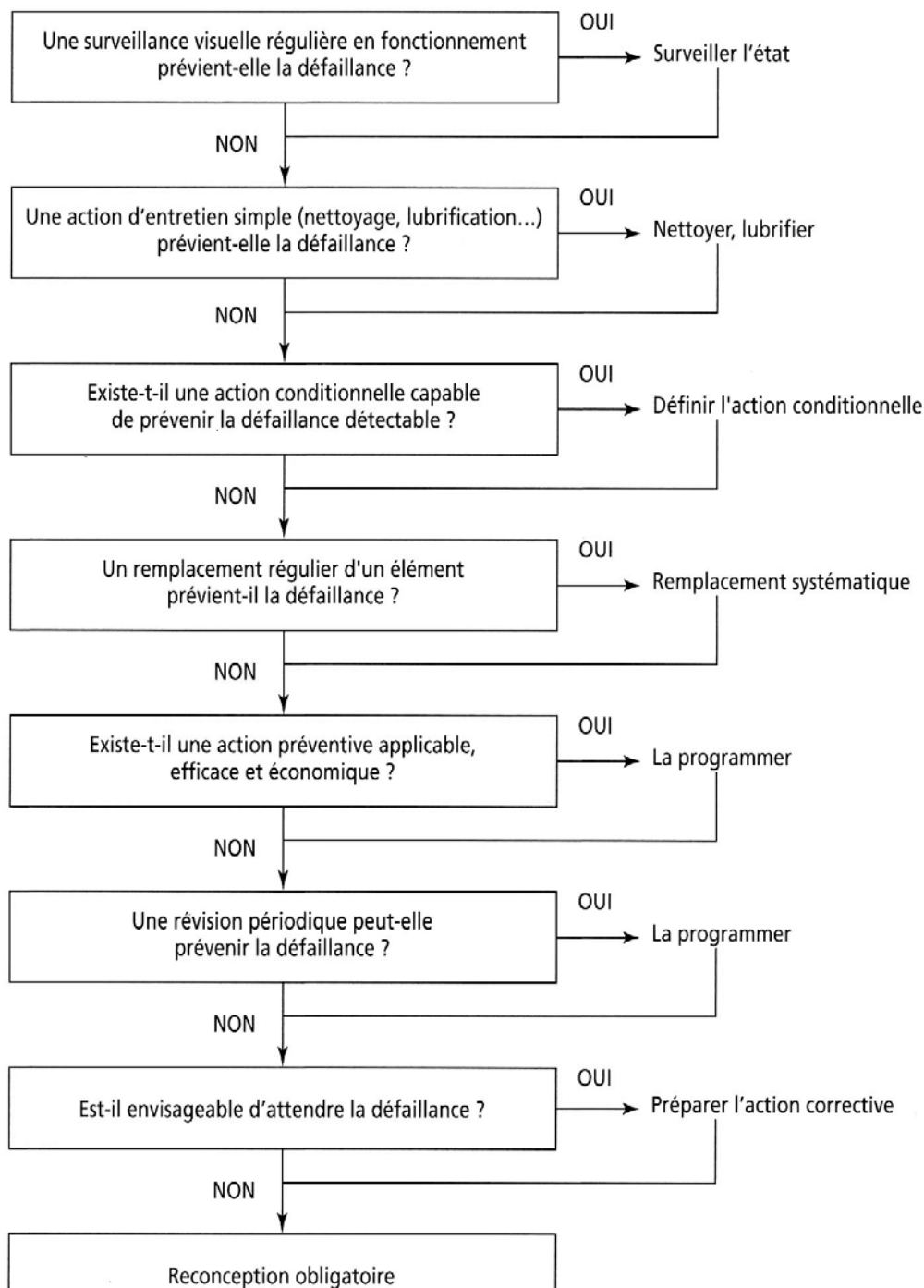
CONCLUSION :

Un bien commence son cycle de vie avec une fiabilité intrinsèque qu'il est difficile de corriger fondamentalement (le choix des matériaux et des composants est bien souvent irréversible).

Un investissement supplémentaire (quelque fois réduit à de simples modifications) sur l'équipement peut pallier les insuffisances initiales (souvent liées à des budgets d'achats limités).

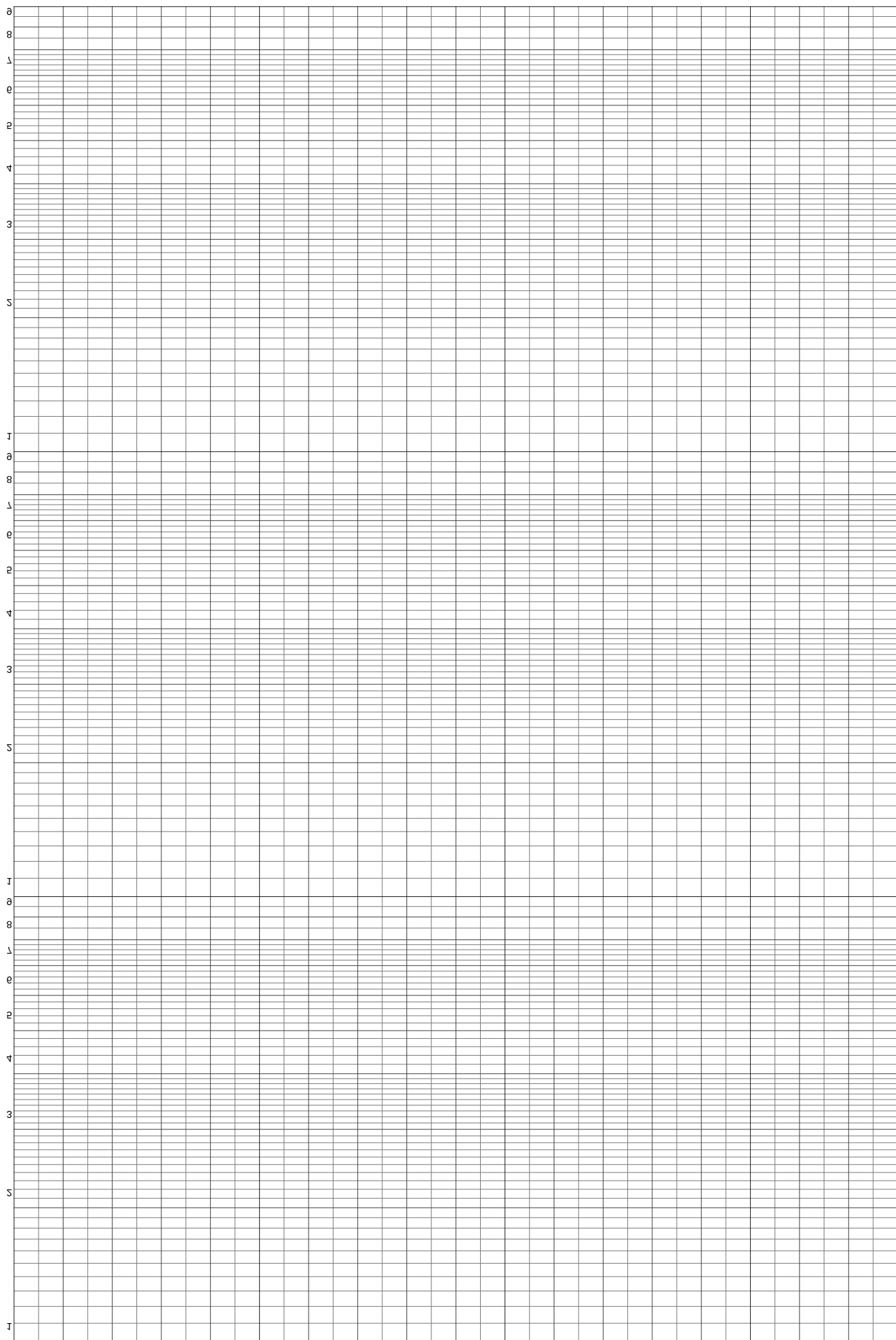
Les études de fiabilité devront donc amener à étudier, sinon de nouveaux choix, au moins des solutions visant un meilleur contrôle des risques de défaillances.

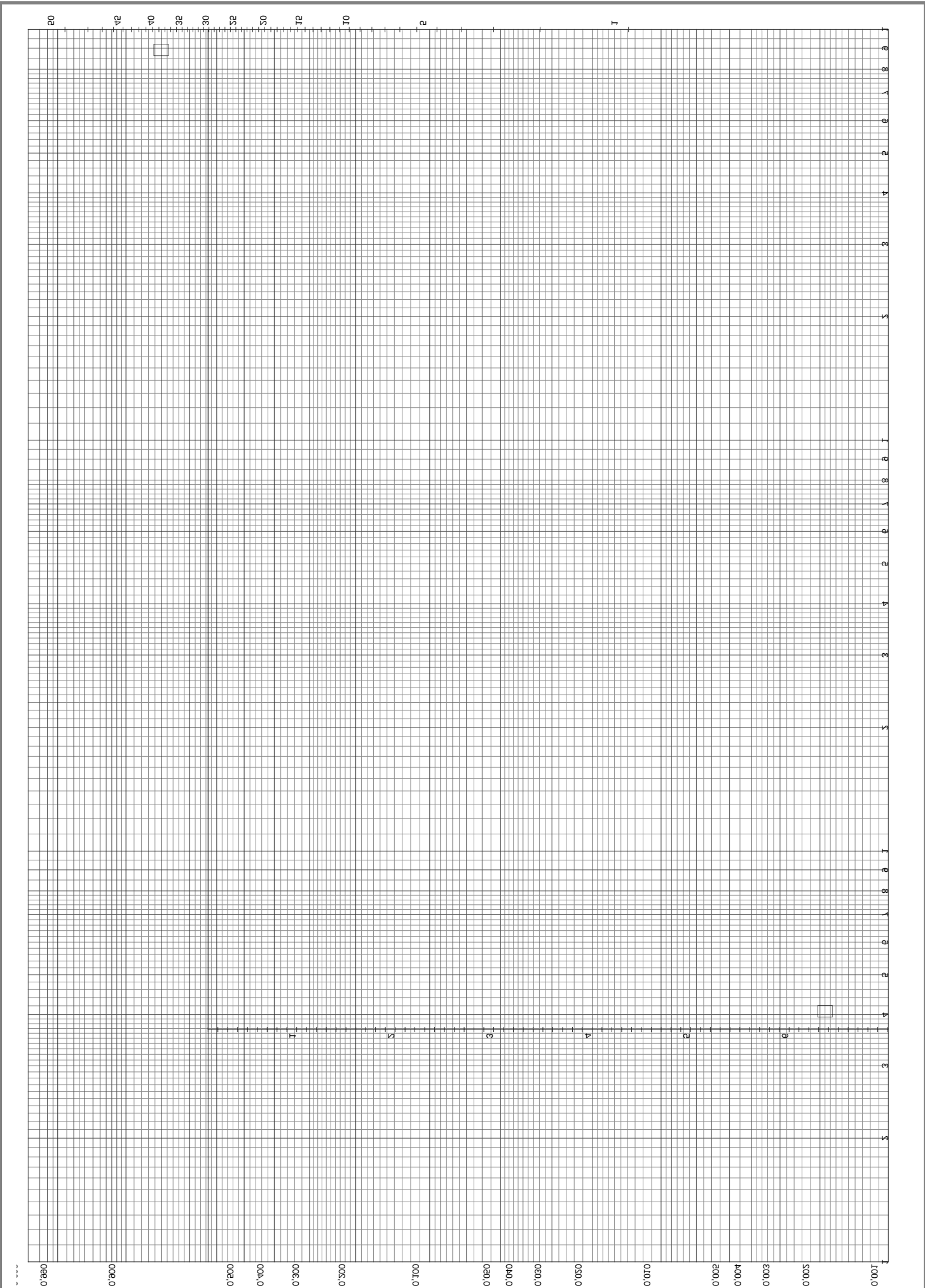
Ce contrôle passe donc obligatoirement par la mise en place d'indicateurs adaptés. A ce titre, le taux de défaillance est celui qui est le plus représentatif de la fiabilité.



L'objectif des lois de fiabilité est alors de déterminer des périodicités d'intervention en maintenance préventive systématique, puis par retour d'expérience (historiques) d'en mesurer les effets (positifs ou négatif) sur le taux de défaillance.

La sélection des interventions préventives pourra alors se faire comme le montre le diagramme ci-contre.





PAPIER WEIBULL