

## TDN°1- FIABILITE

# ETUDE EMPYRIQUE DES DEFAILLANCES

## EXERCICE 1 :

Sur une série de 150 nouveaux capteurs mis en fonctionnement, on a relevé les TBF suivants :

Intervalle de temps	Nombre de défailants
0 – 100	12
100 – 200	10
200 – 300	5
300 – 400	4
400 – 500	3

- Déterminer le taux de défaillance empirique pour chaque intervalle de temps

Considérons 65 mécanismes non réparables tombés en panne selon le tableau ci-dessous, les défailants n'étant pas remplacés. Le mécanisme le plus fiable a fonctionné 790 heures.

- Calculer les taux moyens de défaillance puis tracer le graphe d'évolution, et l'analyser puis le commenter.

Classes	Défaillants	Survivants	$\lambda(t+\Delta t)$
0-100	5	65	
100-200	8	60	
200-300	9	52	
300-400	10	43	
400-500	10	33	
500-600	10	23	
600-700	8	13	
700-800	5	5	

## EXERCICE 2 :

On a relevé sur un type de moteur les défaillances suivantes répertoriées par tranche. L'étude a porté sur 37 moteurs.

0h à 1000h	1000h à 2000h	2000h à 3000h	3000h à 4000h	4000h à 5000h	5000h à 6000h
1	3	6	10	13	4

On demande :

- D'estimer les fonctions empiriques  $\hat{R}(t)$ ,  $\hat{f}(t)$ ,  $\hat{\lambda}(t)$
- De tracer les histogrammes correspondants

## TDN°1- FIABILITE

## EXERCICE 3 :

Un service maintenance étudie le comportement d'un relais en fonctionnement sur 48 machines. Les résultats ont été consignés dans le tableau ci-dessous.

On demande :

- D'estimer les fonctions empiriques  $\hat{R}(t), \hat{f}(t), \hat{\lambda}(t)$
- De tracer les histogrammes correspondants

Nb d'éléments ayant fonctionné	Nb de défaillants dans la tranche	Survivants N(ti)	Cumul des défaillants	Probabilité de survie R(ti)	Densité de probabilité de défaillance f(ti).Δti	Taux d'avarie λ(ti)
0 - 1000 heures	4	48				
1000 - 2000	7					
2000 - 3000	15					
3000 - 4000	10					
4000 - 5000	7					
5000 - 6000	5					

## EXERCICE 4 : RECHERCHE DE PERIODICITE :

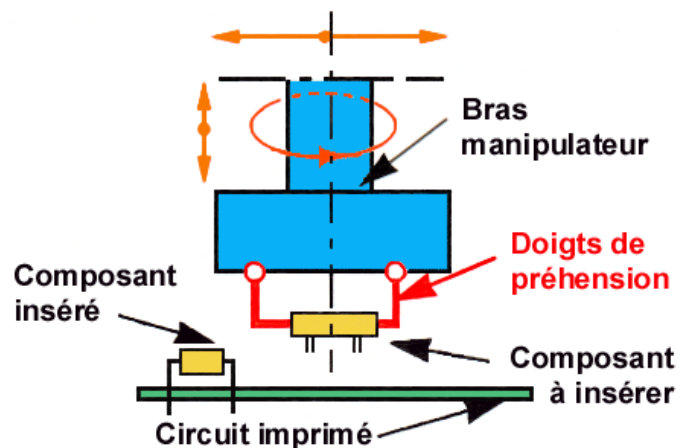
Sur une machine d'insertion automatique de composants électroniques sur des circuits imprimés la rupture des doigts de préhension des composants, situés à l'extrémité d'un bras manipulateur, provoque des arrêts importants (changement des doigts, réinitialisation de la machine, réglages).

Le service maintenance décide d'étudier la fiabilité de ces éléments en vue d'instaurer une action de maintenance préventive systématique les concernant. Sachant que l'entreprise possède 14 machines d'insertion automatique de composants électroniques.

## ETUDE DU TAUX DE DEFAILLANCE :

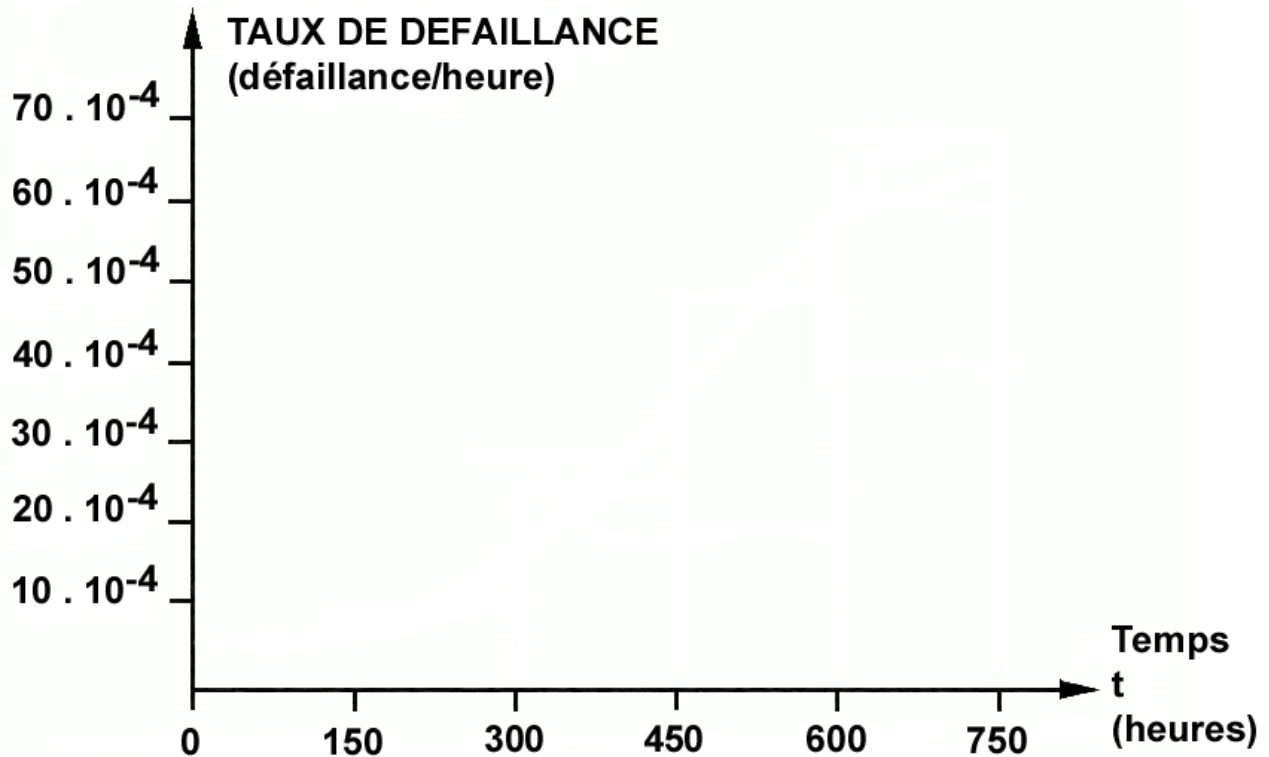
Travail à faire : compléter le tableau de calcul du taux de défaillance puis tracer la courbe taux de défaillance en fonction du temps et conclure.

$$\text{Taux de défaillance : } \lambda(t) = \frac{\text{Nb de matériels défaillants durant } \Delta t}{\text{Nb de matériels en service au début de } \Delta t \times \Delta t}$$



**TDN°1- FIABILITE**

Intervalle $\Delta t$ (en heures)	0 – 150	150 – 300	300 – 450	450 – 600	600 – 750
Nombre de matériels en service au début de $\Delta t$	14	13	11	7	2
Nombre de matériels défectueux pendant $\Delta t$	1	2	4	5	2
TAUX DE DEFAILLANCE (défaillance/heure) $\lambda(t)$					



Période de vie du matériel considéré :

**ETUDE DE LA FONCTION FIABILITE  $R(t)$  :**

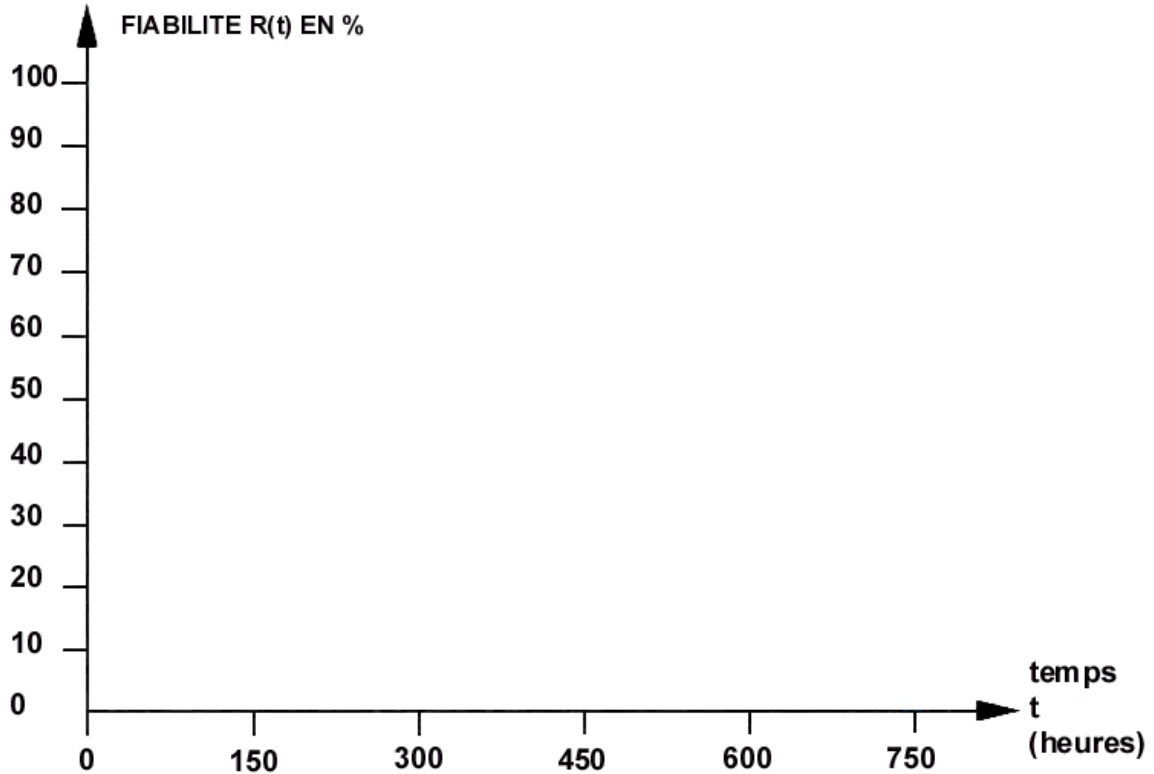
La courbe précédente montre que le changement systématique des doigts doit être envisagé. On se propose donc de déterminer la périodicité de changement.

Travail à faire : compléter le tableau de calcul de la fonction fiabilité en vous aidant du tableau du taux de défaillance puis représenter graphiquement la fiabilité en fonction du temps.

Fonction fiabilité  $R(t)$  :  $R(t) = \frac{\text{Nombre de matériels en service au début de } \Delta t}{\text{Nombre initial de matériels}}$

Intervalles $\Delta t$ (en heures)	0 – 150	150 – 300	300 – 450	450 – 600	600 – 750
Nombre de matériels défectueux dans l'intervalle $\Delta t$					
Nombre de matériels sans défectueux au début de $\Delta t$					
FIABILITE $R(t)$					

**TDN°1- FIABILITE**



**CHOIX DE LA PERIODICITE DE CHANGEMENT SYSTEMATIQUE T :**

Le changement systématique des doigts aura lieu **hors production** et sera d'une durée approximative de 2 heures. L'entreprise travaille 16 heures par jour, 5 jours par semaine (congés le samedi, dimanche et jours fériés) et ferme durant le mois d'août du 1 au 28. **Le dernier changement a eu lieu le 5 avril avant le démarrage de la production.**

Définir graphiquement sur le graphique une périodicité T de changement systématique correspondant à une fiabilité de 90 %.

T =

Cocher les dates de changement systématique des six prochains mois.

**Avril**

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

**Mai**

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

**Juin**

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

**Juillet**

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

**Août**

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

**Septembre**

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

Calendrier de changement systématique des doigts de préhension (les jours de fermeture de l'entreprise sont en violet sur le calendrier).

**TDN°1- FIABILITE****EXERCICE 5 : ANALYSE D'UN PARC DE VEHICULES :**

On donne en annexe l'historique d'un parc de 11 véhicules de même marque et de même type. Ces véhicules devant être renouvelés à l'identique, on se propose de définir une politique de maintenance pour le nouveau parc :

- Connaissance des points faibles pour diminuer les coûts et l'indisponibilité
- Connaissance du comportement pour savoir à quel moment il est économique de les déclasser

**Partie 1 : analyse globale du parc :**

- Compléter le tableau suivant et établir son histogramme :

N° de véhicule	Km parcourus avant déclassement	Nombre de défaillances	HISTOGRAMME			
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
<b>N =</b>	<b><math>\Sigma =</math></b>	<b><math>\Sigma =</math></b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	

- Déterminer le véhicule qui semble anormalement fragile :
- Calculer alors son taux de défaillance et sa MTBF
  
- Calculer le taux de défaillance et la MTBF pour l'ensemble du reste du parc :

- Conclure alors sur l'utilisation qui a été faite sur ce véhicule et émettre alors les hypothèses nécessaires concernant la suite de l'étude :

**TDN°1- FIABILITE****Partie 2 : recensement des données nécessaires à l'étude :**

Décomposition structurelle		Durée d'intervention par véhicule										n	/t	n./t	
Bloc Moteur	1														
Carrosserie	2														
Embrayage	3														
Circuit électrique	4														
Freins	5														
Boite de vitesse	6														
Direction	7														
Suspension	8														
<b>VEHICULE</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>			<b><math>\Sigma =</math></b>

*n* : nombre d'interventions      */t* : moyenne des temps d'intervention

**Partie 3 : analyse par graphes de Pareto :**

- Effectuer une analyse de Pareto en prenant *n./t* comme critère. Conclure.
- Effectuer une analyse de Pareto en prenant *n* comme critère. Conclure.
- Effectuer une analyse de Pareto en prenant */t* comme critère. Conclure.

**TDN°1- FIABILITE****Partie 4 : étude de fiabilité :**

Compléter le tableau suivant :

Classes (périodes en $10^3$ Km)	Nombre de véhicules en usage	Cumul des Km / classe en $10^3$ Km $10000 \times (2)$	Nombre de défaillances / classe	Taux de défaillance $\lambda$ sur la classe $(4) / (3)$	$\lambda.t$ $(5) \times 10000$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
0 – 10					
10 – 20					
20 – 30					
30 – 40					
40 – 50					
50 – 60					
60 – 70					
70 – 80					
80 – 90					
00 – 100					
100 – 110					
110 – 120					

- Tracer la courbe représentant le taux de défaillance en fonction du nombre de Km
- Mettre en évidence les 3 zones caractéristiques de ce type de courbe
- En déduire la période de remplacement des véhicules

## TDN°1- FIABILITE

N° Véhicule	Km compteur	Type de défaut	Code	Durée réparation	N° Véhicule	Km compteur	Type de défaut	Code	Durée réparation
1	7890	Amortisseur	8	5	9	7790	Allumage	4	4
1	8676	Freins	5	7	9	19911	Démarrreur	4	1
1	27391	Embrayage	3	10	9	37525	Amortisseurs	8	6
1	27391	Circuit élec.	4	2	9	87812	Amortisseurs	8	5
1	48720	Pompe à ess.	1	1	9	97912	Circuit élec.	4	3
1	75622	Freins	5	7	9	102800	Freins	5	6
1	110960	Cardan	8	10	9	102800	Cardan	8	8
1	117920	Batterie	4	0,5					
2	8790	Amortisseurs	8	6	10	26821	Amortisseurs	8	5
2	8790	Freins	5	8	10	65912	Embrayage	3	12
2	27922	Cardan	8	8	10	77915	Amortisseurs	8	5
2	27922	Démarrreur	4	4	10	91218	Amortisseurs	8	3
2	37812	Embrayage	3	12	10	97990	Freins	5	6
2	100920	Boite	6	12					
2	103920	Batterie	4	0,5					
3	8787	Amortisseurs	8	5	11	5582	Boite	6	12
3	18732	Freins	5	7	11	64712	Embrayage	3	15
4	4890	Amortisseurs	8	4					
4	17947	Embrayage	3	12					
4	17947	Essuie glace	2	2					
4	57900	Amortisseurs	8	5					
4	77212	Circuit élec.	4	4					
4	103821	Batterie	4	0,5					
5	6990	Embrayage	3	11					
5	14029	Cardan	8	10					
5	87512	Freins	5	8					
5	102921	Batterie	4	0,5					
6	6970	Circuit élec.	4	5					
6	12341	Amortisseurs	8	6					
6	43711	Freins	5	8					
7	6811	Circuit élec.	4	5					
7	17912	Amortisseurs	8	3					
7	101772	Freins	5	6					
7	107911	Boite	6	10					
7	110712	Freins	5	4					
7	111910	Batterie	4	0,5					
8	8910	Amortisseurs	8	7					
8	8910	Portière	2	2					
8	11610	Portière	2	1					
8	14821	Amortisseurs	8	9					
8	18712	Portières	2	2					
8	22222	Cardan	8	8					
8	26714	Embrayage	3	6					
8	28927	Radiateur	1	3					
8	36911	Amortisseurs	8	10					
8	36911	Boite	6	10					
8	41927	Amortisseurs	8	8					
8	58711	Boite	6	10					
8	58711	Embrayage	3	12					
8	66990	Amortisseurs	8	7					
8	77820	Démarrreur	4	6					



**TDN°1- FIABILITE****EXERCICE 6 : REGROUPEMENT EN CLASSES :**

Lorsque le nombre des informations est très important (des dizaines, des centaines, etc.), il faut grouper ces valeurs par classes et procéder comme précédemment.

**Relevé effectué sur 52 composants :**

110	372	372	532	585	690
215	375	375	535	590	700
240	380	380	548	595	740
255	395	395	550	603	745
280	409	409	570	613	748
305	414	414	571	635	
310	417	417	572	643	
315	418	418	580	665	
340	420	420	582	672	
350	422	422	583	685	

**Travail demandé :**

1. Calculer le nombre de classes.
2. Calculer la taille des classes.
3. Calculer le nombre de défaillances par classe.
4. Calculer et tracer  $R(t)$ ,  $F(t)$  et  $\lambda(t)$ .
5. Calculer la MTBF.

**EXERCICE 7 : ETUDE DE FIABILITE GENERAL TRUCK :**

Une entreprise spécialisée dans la fabrication de moteurs thermiques désire faire une étude sur un nouveau moteur monté en série sur des camions

Pour cela, elle définit un échantillon de 100 camions (dont l'utilisation est identique : transport de fret sur route) sur lequel elle note la première défaillance moteur.

Pour une étude de fiabilité, on vous demande :

- De calculer la MTBF d'un moteur.
- De préciser le nombre de moteurs qui atteindront cette MTBF. Pour cela tracer graphiquement la fonction fiabilité et commenter.
- De situer le dispositif moteur dans son cycle de vie. Pour cela tracer graphiquement la fonction taux de défaillance et commenter.
- Préciser à quel type de défaillance il est soumis. Justifier.

**RELEVÉ DES FICHES DE SUIVI DES MOTEURS (population de 100 camions)**

Kilomètres parcourus jusqu'à la première défaillance ( $10^3$  Km)

108	176	205	230	168,5	200,5	224	272,5	146,5	223,5
112,5	178,5	205,5	232	169,5	201	225	274,5	148	215
118	179	206	233	170	202	226,5	298	151	217
121	181	207	234,5	171,5	202,5	228	254	189,5	199
128,5	182	207,5	236	172	203	229	257	191	193
130	183,5	208	237	174	204,5	229,5	258	192	194,5
136	184	210	237,5	158	195	218	265	212,5	166
139,5	186	210,5	238	162	196	218,5	270	213	153,5
141	187,5	211	239,5	164,5	197,5	218,5	248,5	214,5	155
142	188	212	242	165	198	221	250	243,5	245

**TDN°1- FIABILITE**

# ASSOCIATIONS DE DISPOSITIFS

**EXERCICE 8 : SYSTEMES SERIE ET PARALLELE :**

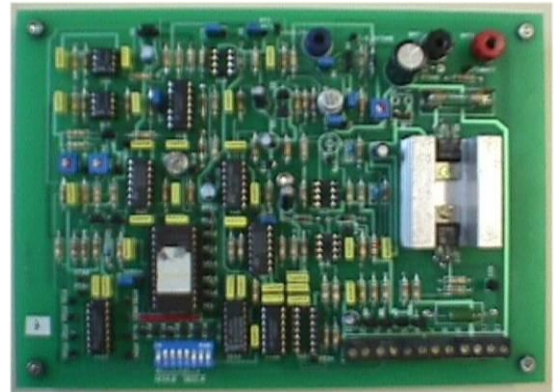
<p><b>1a</b></p>	<p>Un dispositif se compose de 4 composants connectés en série dont les fiabilités sont respectivement de 0,98 ; 0,97 ; 0,95 et 0,99. <b>Déterminer la fiabilité de l'ensemble</b></p>	
<p><b>1b</b></p>	<p>Un dispositif se compose de 4 composants connectés en série dont les fiabilités sont respectivement de 0,92 ; 0,89 ; 0,5 et 0,76. <b>Déterminer la fiabilité de l'ensemble</b></p>	
<p><b>1c</b></p>	<p>Un dispositif se compose de 4 composants connectés en // dont les fiabilités sont respectivement de 0,98 ; 0,97 ; 0,95 et 0,99. <b>Déterminer la fiabilité de l'ensemble</b></p>	
<p><b>1d</b></p>	<p>Le dispositif donné ci-contre a les fiabilités élémentaires suivantes pour 1000 heures :  <math>R_a=0,87</math> ; <math>R_b=0,85</math> ; <math>R_c=R_d=0,89</math> ; <math>R_e=0,94</math> ;  <math>R_f=0,96</math> ; <math>R_g=0,97</math>  <b>Calculer la fiabilité et le taux de défaillance de l'ensemble (en supposant la loi de fiabilité exponentielle).</b></p>	
<p><b>1e</b></p>	<p>Le dispositif donné ci-contre a les fiabilités élémentaires suivantes pour 1000 heures :  <math>R_a=R_b=R_c=0,73</math> ; <math>R_d=0,97</math> ; <math>R_e=0,88</math> ; <math>R_f=0,92</math> ;  <math>R_g=0,88</math>  <b>Calculer la fiabilité et le taux de défaillance de l'ensemble (en supposant la loi de fiabilité exponentielle).</b></p>	
<p><b>1f</b></p>	<p>Le dispositif donné ci-contre a les fiabilités élémentaires suivantes pour 1000 heures :  <math>R_a=0,90</math> ; <math>R_b=R_c=0,81</math> ; <math>R_d=R_e=R_f=0,66</math> ;  <math>R_g=0,93</math>  <b>Calculer la fiabilité et le taux de défaillance de l'ensemble (en supposant la loi de fiabilité exponentielle).</b></p>	

**TDN°1- FIABILITE**

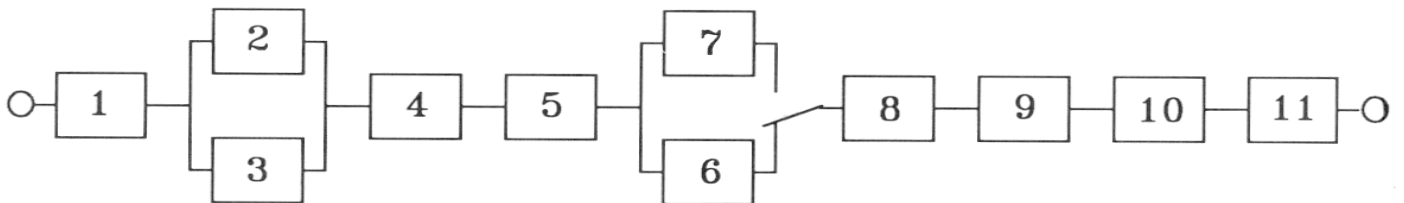
**EXERCICE 9 : ETUDE D'UNE CARTE ELECTRONIQUE :**

Une carte électronique est fabriquée à partir des éléments suivants :

- (1) → Soudures
- (2)-(3) → capacités
- (4) → résistance
- (5) → transistor
- (6)-(7) → circuit intégré
- (8) → diode
- (9) → transformateur
- (10) → potentiomètre
- (11) → Alimentation



La structure de la carte est donnée par le graphe ci-dessous :



Les paramètres de fiabilité sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Repère	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Organe de commutation
MTBF (heures)	32	123	123	77	82	115	115	82	185	27	205	
MTTR (heures)	2,5	1,5	1,5	2	2	0,75	0,75	2	1	2,5	2	
$\lambda$												0
R(5)												1
R(MTBF)												

- Déterminer le taux de défaillance de chaque élément en supposant la loi de fiabilité de chaque composant comme exponentielle
- Déterminer la fiabilité de chaque élément au bout de 5 heures en supposant la loi de fiabilité de chaque composant comme exponentielle
- Déterminer la fiabilité de la carte au bout de 5 heures

## TDN°1- FIABILITE

**EXERCICE 10 : LIGNE D'USINAGE :**

Une ligne de production de pièces mécaniques est constituée d'un *tour à commande numérique* et de deux *centres d'usinage*. Un passage des pièces en machine à laver est prévu entre l'usinage sur le *tour* et celui sur les *centres d'usinage* et en fin d'usinage soit le processus suivant :

1 - *Tournage* ; 2 - *Lavage* ; 3 - *Centre N1* ; 4 - *Centre N2* ; 5 - *Lavage* ; 6 - *Contrôle*

Le transfert de poste à poste est réalisé par un *convoyeur*, le chargement du tour est effectué par un *robot*, les pièces sont palettisées après le premier lavage pour permettre le chargement des centres d'usinage par chargeur automatisé.

Les indices de fiabilité pris en compte sont les suivants:

Désignation	Repère	R(t)
Tour	T	0,92
Centre d'usinage 1	CU1	0,98
Centre d'usinage 2	CU2	0,98
Machine à laver 1	ML1	0,99
Machine à laver 2	ML2	0,99
Convoyeur	C	0,98
Robot	R	0,80
Chargeur 1	CH1	0,99
Chargeur 2	CH2	0,99

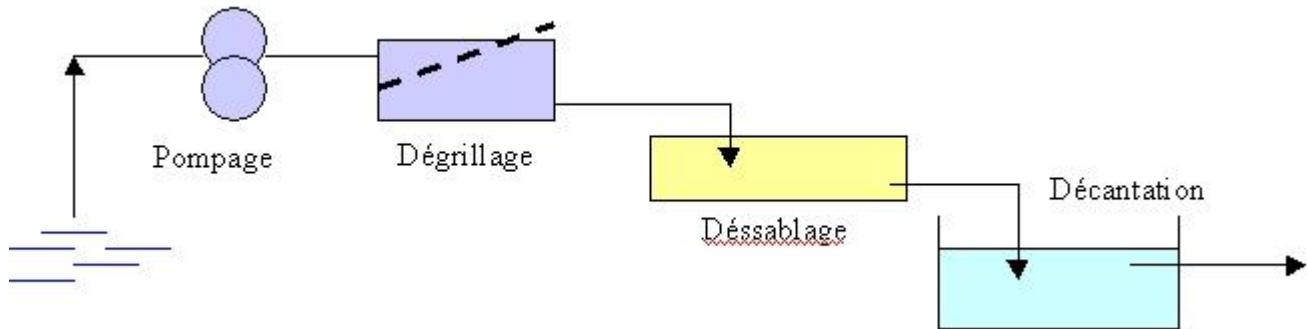
Les écarts d'indices sont essentiellement dus aux différences d'âge des matériels, les *CU* sont récents, le convoyeur et les chargeurs ont été conçus pour cette fabrication, le *tour* est ancien, le *robot* est issu d'une chaîne en cessation de production.

- (1) **Tracez le diagramme de fiabilité de l'installation avec les repères donnés dans le paragraphe précédent (rectangles avec l'initiale du composant à l'intérieur). Le convoyeur peut-être situé indistinctement en début ou à n'importe quel endroit de la ligne de production.**
- (2) **Calculez la fiabilité estimée de cette ligne de production.**
- (3) **Il apparaît nettement que le maillon faible du système est constitué de l'ensemble tour-robot. En considérant que la ligne de production est constituée du sous-ensemble {1 : robot et tour} et du sous-ensemble {2 : le reste du système}, tracez les deux diagrammes de fiabilité puis calculez la fiabilité estimée de chaque sous-ensemble.**
- (4) **Les impératifs de production imposent de porter la fiabilité à une valeur supérieure à 0,8. La chaîne en cessation de production, de laquelle a été prélevé le robot, permet de réutiliser provisoirement d'autres matériels à fiabilité équivalente. Une 1<sup>ère</sup> solution envisagée consiste à mettre en place une redondance des équipements pour obtenir l'indice souhaité. Proposez un diagramme de fiabilité permettant d'obtenir la fiabilité demandée avec l'équipement minimal. Calculez les fiabilités de chaque maillon.**
- (5) **L'immobilisation de plusieurs matériels ne pouvant être que provisoire, la direction demande au service maintenance une solution définitive pour obtenir le même résultat avec l'équipement initialement prévu. La recherche est centrée sur le robot qui présente l'indice le plus faible. Une analyse des défaillances (qui permet de schématiser grossièrement les fiabilités des différentes parties constitutives du robot dans le tableau ci-après) fait apparaître une faiblesse du câble de liaison bras pince, trop souvent sollicité et qui nécessite des changements fréquents. Est-il possible d'obtenir le résultat demandé par redondance d'un maillon ; justifier numériquement la réponse.**
- (6) **Proposez une solution technique minimale pour obtenir l'amélioration souhaitée.**

Désignation	Repère	R(t)
Partie commande	PC	0,99
Rotation des axes	RA	0,99
Pince	P	0,98
Câblerie, liaison bras-pince	C	0,83

## TDN°1- FIABILITE

## EXERCICE 11 : INSTALLATION D'EPURATION :



## Relevé de pannes:

	Relevé de pannes				Temps de référence: 15000 heures			
	Pannes exprimées en heures							
Station de pompage	3	2,5	5	1				
Dégrilleur	4	4	2	3	1,5	0,5		
Déssableur	0,5	0,5	2	1,5	4	6	8,5	8
décanteur	3	1,5	2					

## 1) Calculer le MTBF de chaque élément :

- MTBF station de pompage = (
- MTBF dégrilleur = (
- MTBF déssableur = (
- MTBF décanteur = (

2) Calculer le Taux de défaillance  $\lambda$  de chaque élément :

Si  $\lambda$  est supposé constant :

- $\lambda$  station de pompage =
- $\lambda$  dégrilleur =
- $\lambda$  Déssableur =
- $\lambda$  décanteur =

3) Déterminer la fiabilité  $R$  de la station par heure de fonctionnement, par semaine de fonctionnement et pour 4 semaines de fonctionnement

## EXERCICE 12 :

Deux chariots travaillent en redondance active. Leur loi de durée de vie est du type  $R(t) = e^{-\lambda t}$ . La MTBF d'un chariot est de 54 heures. Quelle est la fiabilité du système au bout de 16 heures ?

## TDN°1- FIABILITE

# LOIS ELEMENTAIRES

## EXERCICE 13 : OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE :

Il s'agit d'optimiser les interventions de maintenance préventive sur différentes machines. On dispose pour cela des historiques suivants :

Machine N°1		Machine N°2	
Temps entre pannes en heures	N° de panne	Temps entre pannes en heures	N° de panne
400	1	410	1
140	2	230	2
300	3	330	3
220	4	720	4
440	5	635	5
530	6		
620	7		
710	8		
850	9		
1200	10		
1000	11		

En admettant que l'on a des lois de Weibull :

- Tracer les 2 fonctions de répartition sur papier Weibull en utilisant les rangs médians
- Déduire pour chaque loi, les paramètres de Weibull
- Calculer les MTBF
- Définir les périodes d'intervention systématique si on souhaite un fonctionnement avec une fiabilité de 95%
- Refaire le même travail en considérant que les machines sont identiques

## EXERCICE 14 : ESTIMATION D'UNE LOI :

On donne l'historique ci-contre de 2 machines :

- Déterminer les lois de durée de vie de chaque machine
- Calculer la MTBF de chaque machine
- Calculer et tracer la fonction R(t)

Machine N°1		Machine N°2	
TBF	N° de panne	TBF	N° de panne
24	1	55	1
35	2	26	2
38	3	13	3
39	4	80	4
42	5	14	5
57	6	21	6
62	7	124	7
		35	8
		18	9
		26	10

## EXERCICE 15 : LOI EXPONENTIELLE :

On dispose d'un moteur dont on désire faire l'étude par Weibull. Pour cela on dispose de TBF suivants : 432, 335, 244, 158, 77, 535, 646, 766, 897, 4494, 3454, 2846, 2414, 1040, 2079, 1806, 1574, 1374, 1374, 1198.

- Déterminer les paramètres de la loi
- De quelle loi peut alors se rapprocher cette loi de Weibull ?
- Quelle est alors la partie concernée de la courbe en baignoire ?
- Calculer la MTBF de 2 manières
- Déterminer la fiabilité au bout de 500 heures

**TDN°1- FIABILITE****EXERCICE 16 : ETUDE DE ROULEMENTS :**

On a relevé la durée de vie de 6 roulements par le nombre de cycles avant rupture :  $4 \times 10^5$ ,  $1,3 \times 10^5$ ,  $9,8 \times 10^5$ ,  $2,7 \times 10^5$ ,  $6,6 \times 10^5$ ,  $5,2 \times 10^5$ . On suppose que cette durée de vie suit une loi de Weibull.

- En utilisant les rangs médians, déterminer les paramètres de la loi
- Déterminer la MTBF et la fiabilité associée

Les fabricants de roulements nomment  $L_{10}$  la durée de vie nominale qui correspond à un seuil de fiabilité de 0,90 tel que 90% des roulements atteignent  $t=L_{10}$ .

- Déterminer graphiquement le TBF à  $L_{10}$ . Le comparer à la MTBF. Conclure.
- Ecrire et tracer les équations de  $R(t)$ ,  $F(t)$ ,  $f(t)$  et  $\lambda(t)$

**EXERCICE 17 : LA LOI LOG-NORMALE :**

C'est une autre loi de fiabilité pour décrire principalement des phénomènes de fatigue.

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{x} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - m}{\sigma}\right)^2} dx$$

Le calcul se fait en passant par la variable centrée réduite  $u = \frac{\ln t - m}{\sigma}$  où « m » est la moyenne des  $\ln(t)$  et  $\sigma$  l'écart type des  $\ln(t)$ . On utilise ensuite les tables de la loi normale en utilisant le paramètre « u ».

$$MTBF = e^{\left(m + \frac{\sigma^2}{2}\right)}$$

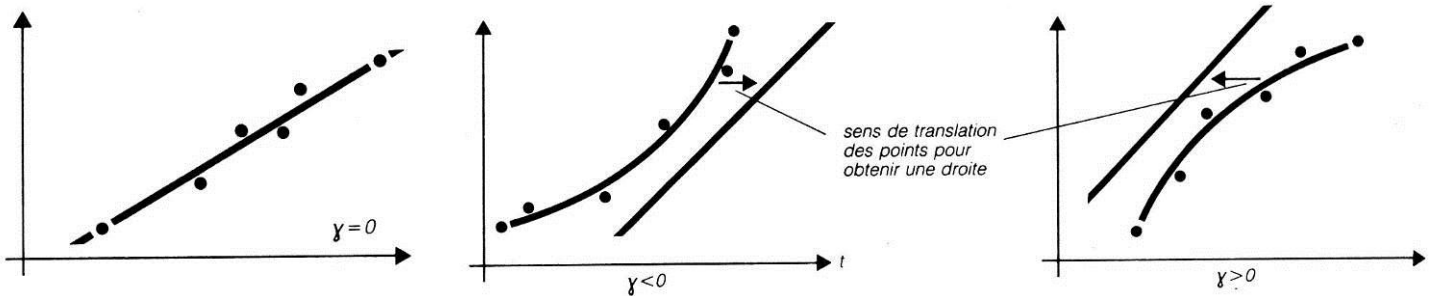
- La durée de vie des bielles d'une voiture suit une loi log-normale de paramètres  $m=5$  et  $\sigma=1,4$ . Calculer la fiabilité pour  $T=300$  heures et la MTBF.
- Les ressorts de compression d'amortisseurs suivent une loi log-normale de paramètres  $m=7$  et  $\sigma=2$ . Au bout de combien de temps doit-on les changer si on veut garantir une fiabilité de 90% et quelle est la MTBF ?

# CAS OU GAMMA EST DIFFERENT DE 0

Cette méthode permet d'obtenir la valeur du paramètre « gamma  $\gamma$  » puis des paramètres « éta  $\eta$  » et « bêta  $\beta$  » quand le nuage de points n'est pas une droite mais une courbe (concave ou convexe).

**Rappels :**

Si le coefficient  $\gamma$  n'est pas nul (cas assez exceptionnel), la représentation n'est pas linéaire. Pour déterminer  $\gamma$ , il faut faire un changement de variable ( $t - \gamma$ ) ; on obtient alors une droite. Il faut donc tradater tous les points d'une valeur égale à  $\gamma$ , mais qui, du fait de la non-linéarité de la fonction logarithme, ne correspond pas à la même distance pour chaque point.

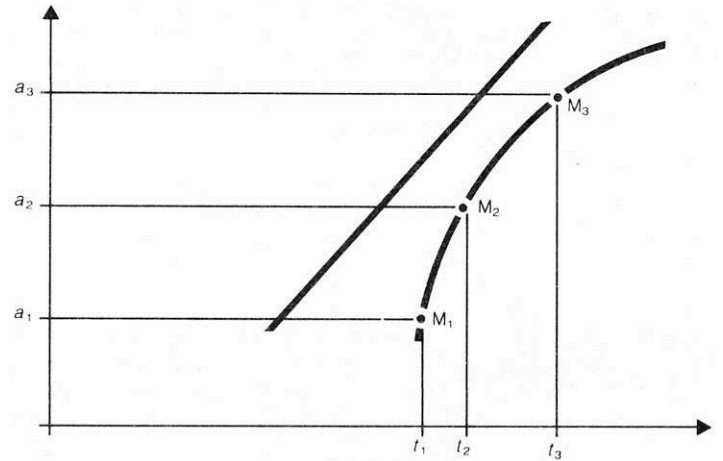


**Méthode de calcul pour obtenir la valeur de  $\gamma$  :**

Prendre sur l'axe F(t) 3 points équidistants  $a_1, a_2, a_3$ . Ces 3 points permettent d'obtenir les abscisses correspondantes au niveau des TBF :  $t_1, t_2, t_3$ . Sur la courbe, on obtient donc les points  $M_1, M_2, M_3$  de coordonnées :

$$M_1 \left| \begin{matrix} t_1 \\ a_1 \end{matrix} \right. \quad M_2 \left| \begin{matrix} t_2 \\ a_2 \end{matrix} \right. \quad M_3 \left| \begin{matrix} t_3 \\ a_3 \end{matrix} \right.$$

En effectuant le changement de variable ( $t - \gamma$ ), ces 3 points sont tradatés et on obtient donc une droite. Les points  $M_1, M_2$  et  $M_3$  ont alors les coordonnées suivantes :



$$M_1 \left| \begin{matrix} t_1 \\ \log(t_1 - \gamma) \end{matrix} \right. \quad M_2 \left| \begin{matrix} t_2 \\ \log(t_2 - \gamma) \end{matrix} \right. \quad M_3 \left| \begin{matrix} t_3 \\ \log(t_3 - \gamma) \end{matrix} \right.$$

$$\overline{M_1.M_2} \left| \begin{matrix} t_2 - t_1 \\ \log(t_2 - \gamma) - \log(t_1 - \gamma) \end{matrix} \right. \quad \text{et} \quad \overline{M_2.M_3} \left| \begin{matrix} t_3 - t_2 \\ \log(t_3 - \gamma) - \log(t_2 - \gamma) \end{matrix} \right.$$

Comme sur l'axe des F(t), les points sont équidistants, on a donc l'égalité suivante :

$$\log(t_2 - \gamma) - \log(t_1 - \gamma) = \log(t_3 - \gamma) - \log(t_2 - \gamma)$$

$$\Rightarrow \log \frac{t_2 - \gamma}{t_1 - \gamma} = \log \frac{t_3 - \gamma}{t_2 - \gamma} \Rightarrow \frac{t_2 - \gamma}{t_1 - \gamma} = \frac{t_3 - \gamma}{t_2 - \gamma} \Rightarrow (t_2 - \gamma).(t_2 - \gamma) = (t_3 - \gamma).(t_1 - \gamma)$$

$$\Rightarrow t_2^2 - 2.t_2.\gamma + \gamma^2 = t_3.t_1 - \gamma.t_3 - \gamma.t_1 + \gamma^2 \Rightarrow t_2^2 - 2.t_2.\gamma = t_3.t_1 - \gamma.t_3 - \gamma.t_1$$

$$\Rightarrow \gamma.(t_3 + t_1 - 2.t_2) = t_3.t_1 - t_2^2$$

$$\gamma = \frac{t_1.t_3 - t_2^2}{t_1 + t_3 - 2.t_2}$$

Ce qui permet d'obtenir la valeur de gamma :

Il reste donc à tradater tous les autres points de la valeur de gamma. On obtient une droite. A partir de cette droite, on obtient les 2 autres paramètres de la même manière que lorsque gamma est égal à 0.



**TDN°1- FIABILITE****APPLICATION 1 pour Gamma > 0 :**

Le dépouillement des différents fichiers historiques concernant des réducteurs à axes concourants de même type et fonctionnant dans des conditions identiques a permis de constater 21 avaries.

Les TBF en heures ont été relevés et classés par ordre croissant : 570, 600, 640, 670, 700, 730, 770, 800, 830, 870, 900, 930, 960, 1000, 1050, 1100, 1150, 1220, 1280, 1380, 1570.

1. Estimer la fonction de répartition par les rangs moyens
2. Tracer les couples de points (TBF, F(t)) sur du papier Weibull
3. Déterminer par calcul la valeur de gamma
4. Effectuer alors la translation des points afin d'obtenir une droite
5. En déduire les paramètres bêta et éta
6. Déterminer enfin la MTBF
7. Vérifier les résultats avec FIABOPTIM

**APPLICATION 2 pour Gamma < 0 :**

Le dépouillement des différents fichiers historiques concernant des matériels de même type et fonctionnant dans des conditions identiques a permis de constater 22 avaries.

Les TBF en heures ont été relevés et classés par ordre croissant : 1, 2, 3.5, 4, 5.5, 8, 8, 8, 9, 9, 11, 11, 11, 13, 13, 13, 13, 15, 15, 15, 15, 15.

1. Estimer la fonction de répartition par les rangs moyens en complétant le tableau ci-dessous
2. Tracer les couples de points (TBF, F(t)) sur du papier Weibull
3. Déterminer par calcul la valeur de gamma
4. Effectuer alors la translation des points afin d'obtenir une droite
5. En déduire les paramètres bêta et éta
6. Déterminer enfin la MTBF

Rang	TBF en mois	Nb de fois au même temps : ni	$\sum ni$ (ni cumulés)	$F(t_i) = \sum \frac{ni}{N+1}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

## TDN°1- FIABILITE

# PERIODICITE OPTIMALE EN MAINTENANCE PREVENTIVE

## EXERCICE 18 : ORGANE DE MACHINE :

L'étude statistique effectuée sur les T.B.F. d'un organe de machine a permis de dégager la loi de fiabilité suivante :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{130}\right)^{1.5}}$$

- Déterminer les valeurs prises par les trois paramètres du modèle ci-dessus.
- Calculer la MTBF.
- Représenter schématiquement l'allure du taux de défaillance de cet organe.
- Décrire les conditions nécessaires pour qu'une maintenance préventive soit applicable.

### Données :

Coût intervenant	30,49 € / heure
Coût de non - production	1524,49 € / heure
Coût de la pièce de rechange	76,22 €
Temps d'arrêt moyen suite à une défaillance	3,5 heures
Temps moyen pour l'échange d'un élément entre défaillances	2 heures
Temps d'ouverture	2000 heures

## EXERCICE 19 : COURROIES :

On a observé pendant une année, le fonctionnement (temps effectif de disponibilité 1935 heures) de 3 machines qui assurent la fabrication de cigarettes puis leur conditionnement en paquets et en cartouches.

La collecte des informations a été effectuée par un système de saisie des arrêts en temps réel documenté par les opérateurs de production. Un extrait des historiques ainsi constitués est donné ci-dessous.

### Données :

Les 3 machines constituent une chaîne de production en série liée sans en-cours.

- Coût indirect de maintenance par heure : 556,9€ ;
- Temps de changement d'une courroie : 20 min ;
- Down time =30min ;
- Taux horaire main-d'œuvre de maintenance : 35,83€ ;
- Prix d'une courroie : 16,77€.

Afin d'effectuer une étude de fiabilité sur les 36 courroies qui sont les composants provoquant le plus d'arrêts incontrôlés, on a suivi le comportement de 12 d'entre-elles et relevé leurs durées de vie respectives.

TBF(heures)	800	545	580	800	880	660	545	800	480	610	700	640
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Nota : Les courroies sont identiques et travaillent dans les mêmes conditions.

### Travail demandé :

- Déterminer la loi de dégradation de ces courroies.
- A partir des paramètres du modèle ainsi établi, indiquer (en justifiant) si les courroies semblent correctement choisies.
- Calculer le nombre prévisible de défaillances pour l'année à venir.
- Déterminer, si elle existe, la périodicité optimale ( $\theta_0$ ) d'un changement systématique des 36 courroies en gestion collective.

## TDN°1- FIABILITE

**EXERCICE 20 : VIS DE PRESSES A INJECTER :****Mise en situation :**

La société ALSE est spécialisée dans la fabrication de produits de consommation courante, tels que biscuits, produits aromatisés, pop-corn etc.

Elle utilise pour certaines fabrications des machines à extruder de type EF 70. Ces machines au nombre de 3, utilisent des vis sans fin, de type « US 500 », « VOLLGEPANZERT » et « NITRIERT »

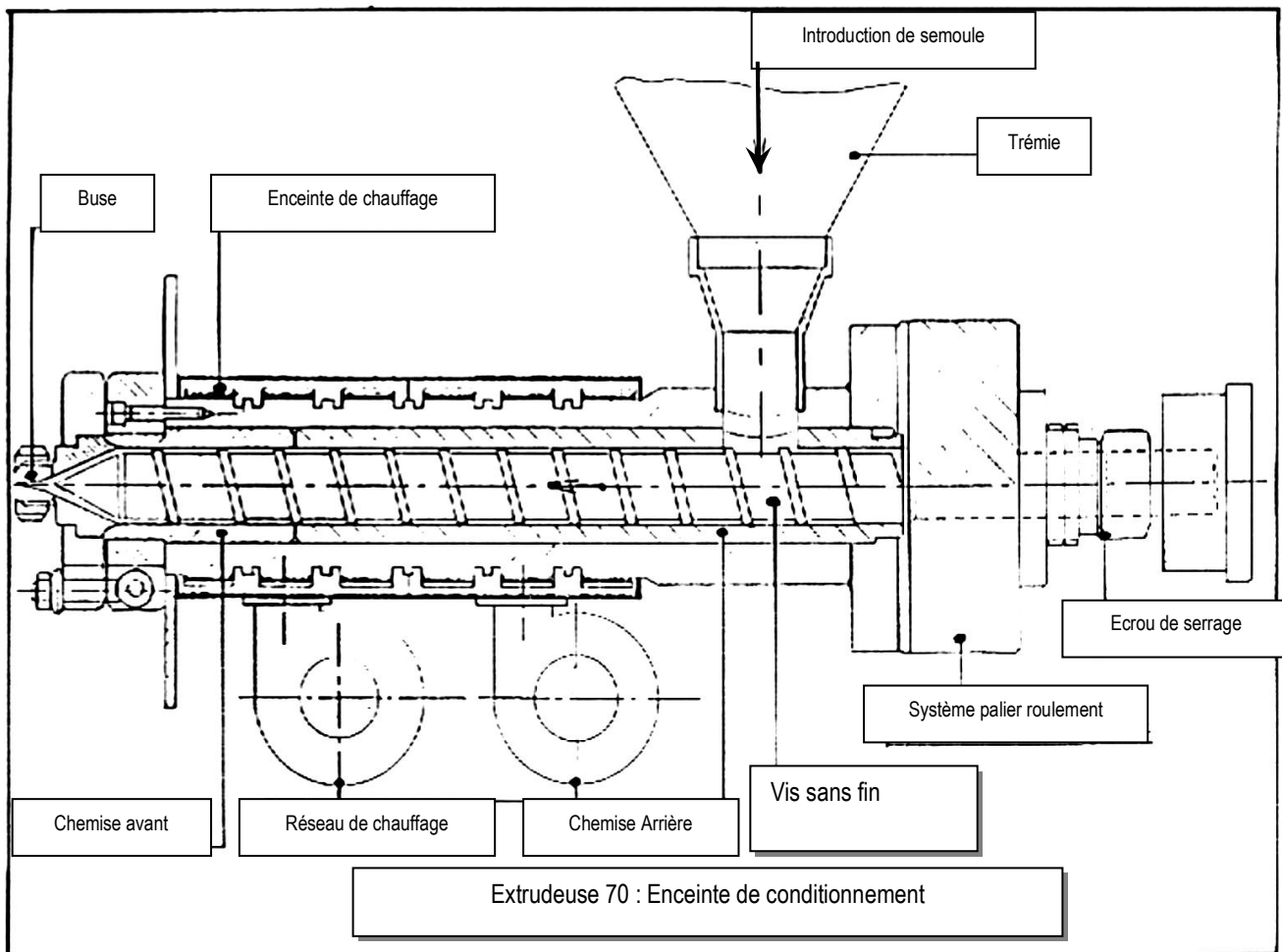
Ces vis présentent des différences notables dans leur *conception* et leur *durée de vie* ; elles proviennent de fournisseurs différents et leurs prix sont différents.

Cependant elles se montent indifféremment sur les trois extrudeuses E1, E2, E3 et peuvent être affectées à une ou plusieurs fabrications.

Exemple : Vis US 500 - Réf. 14242.0B1

Temps de fonctionnement sur E1	1074 h
Temps de fonctionnement sur E2	2267 h
Total des heures de fonctionnement	3341 h

Une vis usée entraîne, outre une perte de rendement, une détérioration de la qualité du produit. La décision de réforme de celle-ci intervient hors production, après diagnostic du responsable de maintenance.

**ETUDE DEMANDEE :**

Afin de faire appel à un seul fournisseur de pièces de rechange (pour une meilleure politique d'achat et de gestion de stock), le responsable maintenance veut procéder à une étude de fiabilité sur les vis, et ainsi de justifier le choix du type de vis à adopter à l'avenir.

- **A partir du tableau récapitulatif page suivante, indiquant le temps de fonctionnement de chaque vis depuis la mise en service jusqu'à la réforme, déterminer le modèle de Weibull de chaque type de vis ainsi que leur MTBF. Etudier la tendance du taux de défaillance de chaque type de vis. Commenter les résultats.**

**TDN°1- FIABILITE**

- *Quel type de vis faut-il adopter à l'avenir, compte tenu des informations complémentaires suivantes ? Le coût de main-d'œuvre de maintenance est identique pour les 3 types de vis (500€) ; idem pour le cout indirect (8000€). Le temps d'ouverture est de 5000 heures. Justifier la réponse.*

VIS US 500	PU : 1955 €
VIS VOLLGEPANZERT	PU : 2949 €
VIS NITRIERT	PU : 1448 €

Temps de fonctionnement des vis d'extrudeuses (heures)					
Type de vis	Référence	Extrudeuse E1	Extrudeuse E2	Extrudeuse E3	Total
US 500	12752-OB2	1495			1495
US 500	12752-OB4		1240		1240
US 500	12752-OB5			1006	1006
US 500	13150-OB9	956		762	1718
US 500	14242-OB1	1074	2267		3341
US 500	14242-OB2	1656	1304		2960
US 500	15786-OB1	1223		1150	2373
US 500	15214-OB5	589	300	202	1091
US 500	12960-OB1		743	108	851
VOLLGEPANZERT	11019-OB1	1033		110	1143
VOLLGEPANZERT	11019-OB9		300	202	502
VOLLGEPANZERT	10176-OB3	752	889		1641
VOLLGEPANZERT	11364-OB4	888		1597	2485
VOLLGEPANZERT	11364-OB3	718	2752		3470
NITRIERT	13014-OB5	703			703
NITRIERT	15246-OB1	577			577
NITRIERT	15246-OB6	237		248	485
NITRIERT	15120-OB2		1006		1006
NITRIERT	15246-OB4		709	786	1495

**TDN°1- FIABILITE****EXERCICE 21 – COMPORTEMENT GLOBAL D'UNE PLATE-FORME DE TRI :**

Dans une plate-forme de tri d'une déchetterie n'est appliquée qu'une maintenance corrective. Afin d'adapter la politique de maintenance, on décide de cibler le composant le plus pénalisant.

L'historique est le suivant :

Date	TBF	T arrêt	Coûts pièces	Centres de charge				
	En h	En h	En € TTC	Convoyeur	Trommel	Tapis Tri	Overband	Presses codex
28/07/95		2	137,20					X
11/09/95		8	945,18	X				
16/10/95		23,5	1059,22					X
27/11/95		1,5	123,64					X
06/12/95		4	295,14					X
18/12/95		12,5	762,25		X			
03/01/96		27,5	494,09					X
26/11/96		7	268,31		X			
05/12/96		4	233,55		X			
11/12/96		1	6,25				X	
17/12/96		18	815,60		X			
18/12/96		12	1330,88	X				
17/02/97		8	264,96			X		
02/07/97		2	614,67	X				
08/12/97		26,5	396,37		X			
31/12/97		12	44,21					X
Remplacement de la presse CODEX par une nouvelle presse COMDEX en décembre 1997 (capacité mieux adaptée aux produits traités)								
31/12/97		2	103,67			X		
15/01/98	120	7	347,58					X
15/01/98		3,5	0,00			X		
05/02/98		2	73,18					X
20/02/98	192	2,5	73,18					X
20/02/98		2	426,86			X		
25/03/98		3	297,28	X				
25/03/98		1	53,36			X		
25/03/98		4	167,69				X	
21/04/98	328	5	194,37					X
04/05/98		13	792,73		X			
05/05/98	80	8	603,70					X
10/06/98		1	576,26					X
19/06/98	240	4	710,41					X
22/06/98		4	375,02			X		
20/07/98	168	5	236,30					X

Le coût horaire de la maintenance est de 23€.

L'heure de perte de production se monte à 183€

Les temps de main d'œuvre correspondent aux temps d'arrêts.

Les pièces de rechange sont en stock.

**TDN°1- FIABILITE****Question 1 : maîtrise des coûts de maintenance :**

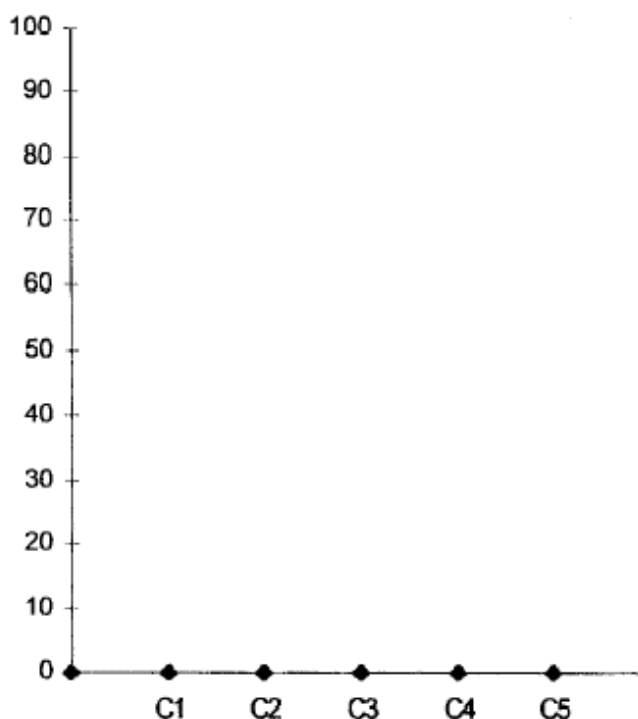
Composants	Somme des temps d'arrêts	Somme des coûts de main d'œuvre	Somme des coûts des pièces de rechange	Somme des coûts d'indisponibilité	Somme des coûts de défaillance
Convoyeur					
Trommel					
Tapis Tri					
Overband					
Presses					

**Question 2 : répartition des défaillances :**

Centre de charge	Composants	Coûts de défaillance	Coûts cumulés	Nombre d'interventions	Fréquence cumulée en %
C1					
C2					
C3					
C4					
C5					

**Courbe de répartition des défaillances**

Fréquences cumulées

**Conclusions**

**TDN°1- FIABILITE**

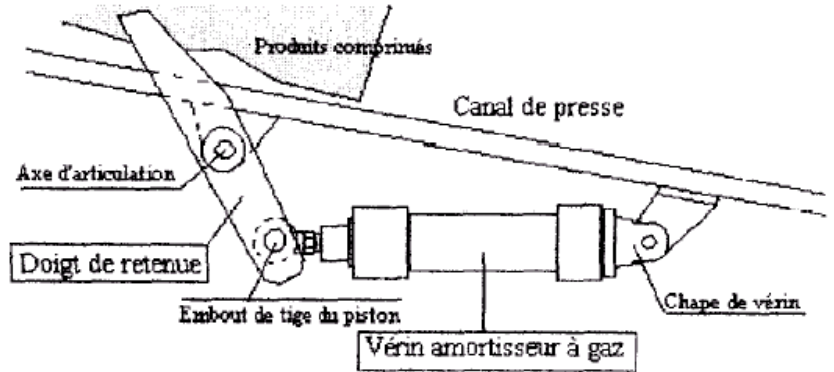
**Question 3 : Période optimale de remplacement d'un sous-ensemble doigt de retenue sur la presse COMDEX :**

Sur la presse COMDEX, les produits comprimés par le vérin principal, lors du recul du pousoir de compression sont retenus par 6 doigts et 6 vérins à gaz articulés.

Les fortes sollicitations provoquent le cisaillement de l'axe d'articulation ou le bris de la chape de vérin ou la rupture de l'embout du piston.

Ces sous-ensembles « doigt de retenue » sont à l'origine de la plupart des arrêts.

L'historique des défaillances d'un sous-ensemble est le suivant :



Date	TBF (heures)	Temps d'arrêt (heures)
18/12/97	120	7
15/01/98	192	2,5
20/02/98	328	5
21/04/98	80	8
05/05/98	240	4
19/06/98	168	5

**Table des rangs médians :**

ordre	TAILLE DE L'ECHANTILLON																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	50,0	29,2	20,6	15,9	13,0	10,9	9,5	8,3	7,4	6,7	6,1	5,6	5,2	4,9	4,5	4,3	4,0	3,8	3,6	3,4
2		70,8	50,0	38,6	31,5	26,6	23,0	20,2	18,1	16,3	14,9	13,7	12,7	11,8	11,0	10,4	9,8	9,2	8,8	8,3
3			79,4	61,4	50,0	42,2	36,5	32,1	28,7	26,0	23,7	21,8	20,1	18,8	17,5	16,5	15,5	14,7	13,9	13,2
4				84,1	68,5	57,8	50,0	44,0	39,4	35,6	32,5	29,8	27,6	25,7	24,0	22,6	21,3	20,1	19,1	18,1
5					87,0	73,4	63,5	56,0	50,0	45,2	41,2	37,9	35,1	32,6	30,5	28,7	27,0	25,5	24,2	23,0
6						89,1	77,0	67,9	60,6	54,8	50,0	46,0	42,5	39,6	37,0	34,8	32,8	31,0	29,4	27,9
7							90,5	79,8	71,3	64,4	58,8	54,0	50,0	46,5	43,5	40,9	38,5	36,4	34,5	32,8
8								91,7	81,9	74,0	67,5	62,1	57,5	53,5	50,0	47,0	44,3	41,8	39,7	37,7
9									92,6	83,7	76,3	70,2	64,9	60,4	56,5	53,0	50,0	47,3	44,8	42,6
10										93,3	85,1	78,2	72,4	67,4	63,0	59,1	55,7	52,7	50,0	47,5
11											93,9	86,3	79,9	74,3	69,5	65,2	61,5	58,2	55,2	52,5
12												94,4	87,3	81,3	76,0	71,3	67,2	63,6	60,3	57,4
13													94,8	88,2	82,5	77,4	73,0	69,0	65,5	62,3
14														95,1	89,0	83,5	78,7	74,5	70,6	67,2
15															95,5	89,6	84,5	79,9	75,8	72,1
16																95,7	90,2	85,3	80,9	77,0
17																	96,0	90,8	86,1	81,9
18																		96,2	91,2	86,8
19																			96,4	91,7
20																				96,6

**TDN°1- FIABILITE**

⇒ 31 – Effectuer une étude de fiabilité selon le modèle de Weibull de ces sous-ensembles. En déduire la MTBF.

Ordre i	TBF (i)	Fi(t)

Valeur de $\gamma$	Valeur de $\eta$	Valeur de $\beta$	MTBF
<b>Fiabilité à la MTBF</b>	<b>Périodicité à 80%</b>	<b>Fonction fiabilité</b>	

⇒ 32 – Déterminer la moyenne des temps d'arrêt MTA :

MTA

La valeur MTA correspond donc à la moyenne des temps d'arrêt suite à une défaillance : il faut dégager les balles du canal de presse et remplacer les doigts.

A titre indicatif, en préventif, il faut 1,5 heures pour échanger les doigts si le remplacement a lieu avant défaillance.

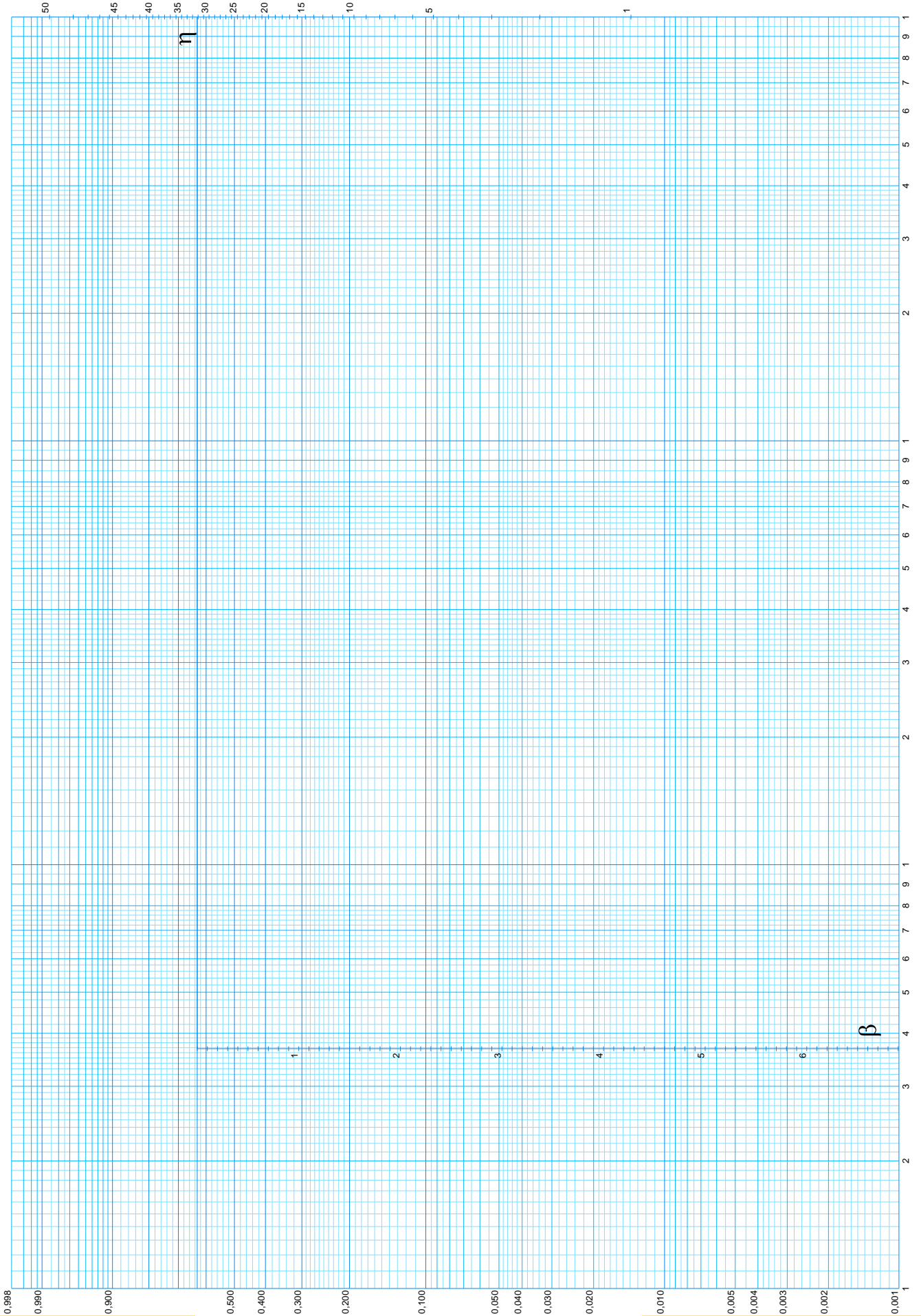
- Coût d'un ensemble doigts de retenue : 200€
- Coût horaire de main d'œuvre : 25€
- Coût indirect de la défaillance :  **$P = 960€$**  (183€ / heure)

⇒ 33 – Déterminer la période optimale  $\theta$  de remplacement des doigts :

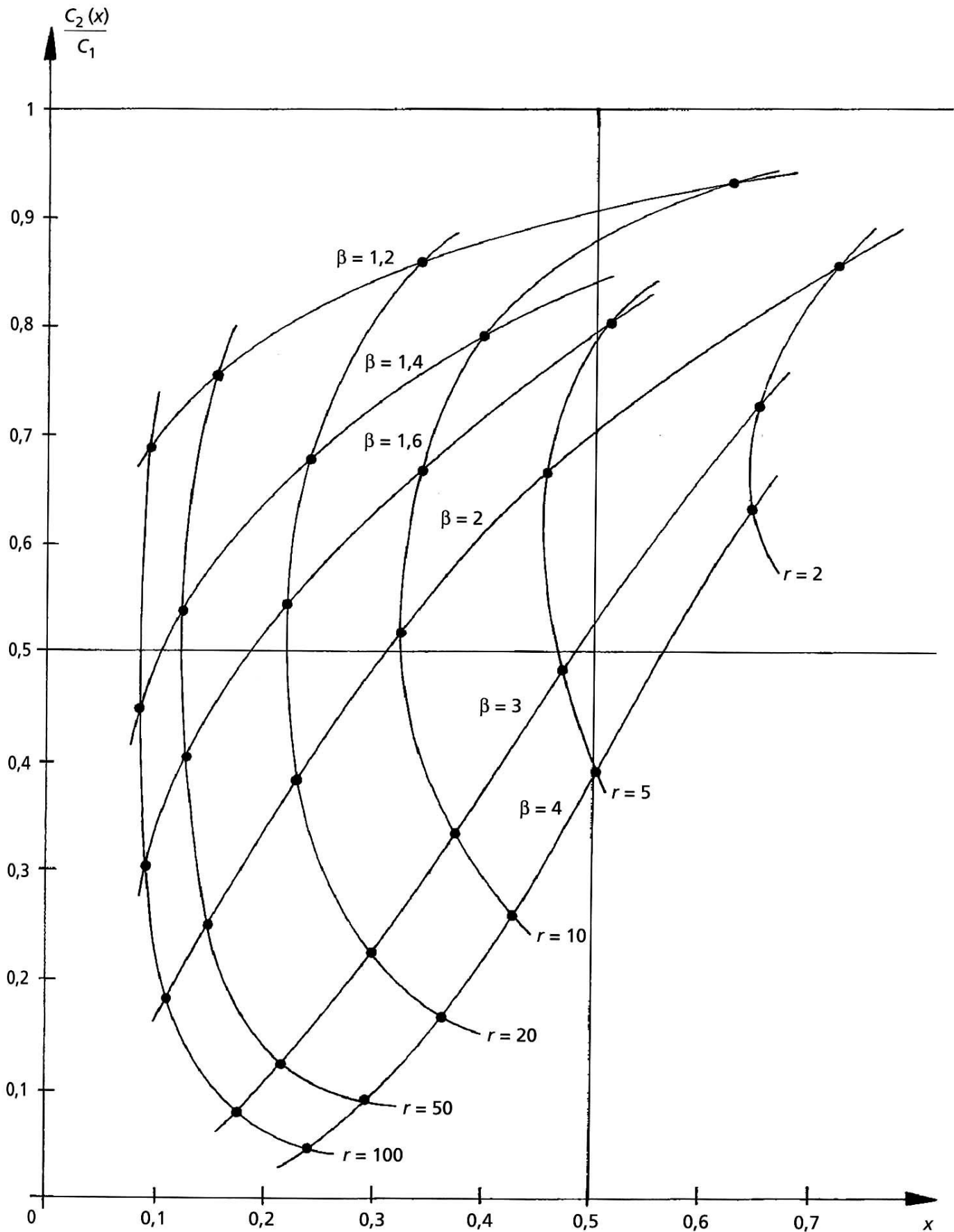
<b>Coût direct de défaillance :</b> « p »	
<b>Coût indirect de défaillance :</b> « P »	
<b>Criticité de défaillance :</b> « $r = P/p$ »	
<b>Détermination graphique</b> de « x »	
<b>Valeur de « <math>\theta</math> » ; période optimale de remplacement</b>	



**TDN°1- FIABILITE**



**TDN°1- FIABILITE**



Maintenance systématique en gestion individuelle. Période optimale :  $\theta_0 = \eta \cdot x_0$

# ROCOF : INTENSITE DE DEFAILLANCE

Une fraiseuse à commande numérique fait l'objet d'une analyse de ses défaillances. Les éléments nécessaires à l'étude ont été extraits de l'historique et sont présents dans le tableau ci-dessous :

Année	TF (heures)	Pannes
1996	2956	5
1997	3021	6
1998	2895	5
1999	1800	3
2000	2905	4
2001	2896	3
2002	1600	2
2003	3135	3
2004	3296	3
2005	2850	3
2006	1800	2
2007	2125	2

## Travail demandé :

1. Etablir le tableau nécessaire à l'étude du ROCOF.
2. Tracer l'évolution des pannes.
3. Tracer l'intensité de défaillance.
4. Conclure.