

# TP SdF N° 7

## Optimisation de la maintenance préventive

L'objet de ce TP porte sur l'étude et l'optimisation de la périodicité d'actions de maintenance préventive.

**Problème :** Afin de garantir un très faible taux de rebut chez le client, un produit fait l'objet d'un test dimensionnel en sortie de chaîne de production par deux moyens de contrôle indépendants, l'un mécanique et l'autre électronique. Susceptible de détecter les mêmes défauts du produit, ces équipements de test font périodiquement l'objet d'actions de maintenance préventive afin de pallier des défaillances ou dérèglages éventuels (pannes cachées ou latentes). Comment dimensionner cette maintenance au meilleur coût ?

### 1 – Analyse de données

Le suivi d'équipements de test identiques à ceux qui sont utilisés en bout de chaîne a permis de collecter les durées de bon fonctionnement avant défaillance indiquées ci-dessous.

Equipement A (mécanique)

249	292	339	395	459	503	608	621	668	740	752	809	849	1004	1021	1095
1126	1161	1173	1227	1292	1467	1476	1492	1502	1518	1659	1703	1801	2073		

Equipement B (électronique)

184	434	563	802	946	956	1403	1859	1908	2087	2267	2411	2609	2611	3233	3303
3601	3642	3663	3782	4233	5486	6260	6647	7192	7530	7809	9601	11462	25618		

Evaluer les paramètres des lois de défaillance des équipements mécaniques (Weibull) et électroniques (exponentielle), puis évaluer la fiabilité de l'ensemble des moyens de contrôle.

### 2 – Apport des actions de maintenance préventive

Evaluer l'apport d'actions de maintenance préventive effectuée tous les 100 heures sur les deux moyens de contrôle, avec remise à neuf des équipements en cas de problème.

Est-il judicieux de synchroniser les actions de maintenance sur les équipements A et B ?

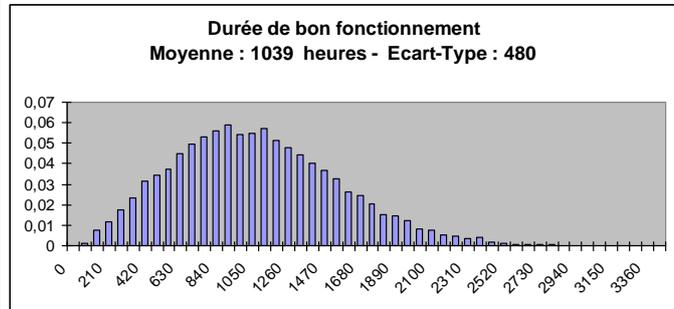
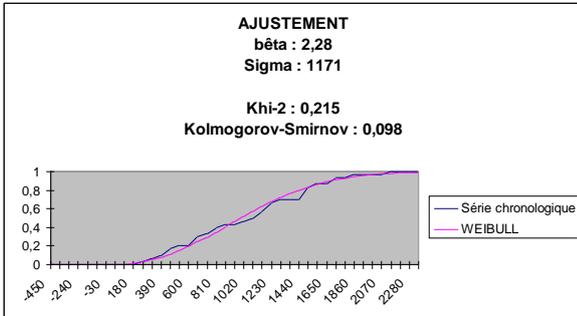
### 3 – Optimisation de l'occurrence des actions de maintenance préventive

Optimiser l'occurrence de la maintenance préventive du système de contrôle sur une durée de 1000 heures sachant que sa disponibilité moyenne doit être supérieure à 0,99999 pour satisfaire l'exigence du client, et que le coût d'une action de maintenance est de 100 Euros sur le moyen électronique et de 500 Euros sur le moyen mécanique.

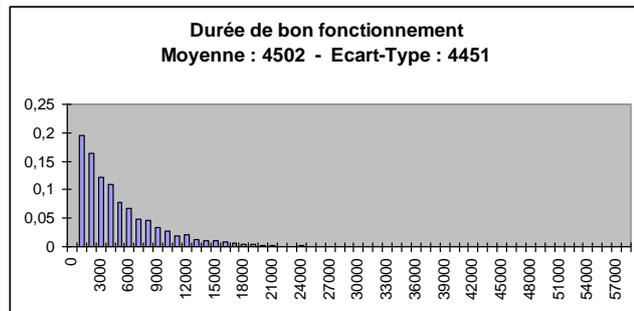
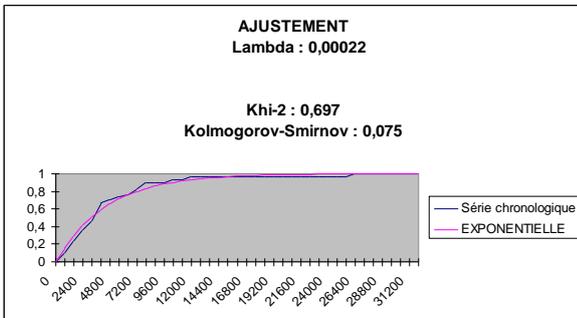
# 1 – Analyse de données

A partir des données fournies, les ajustements peuvent être réalisés par l’outil SIMCAB comme indiqué ci-dessous :

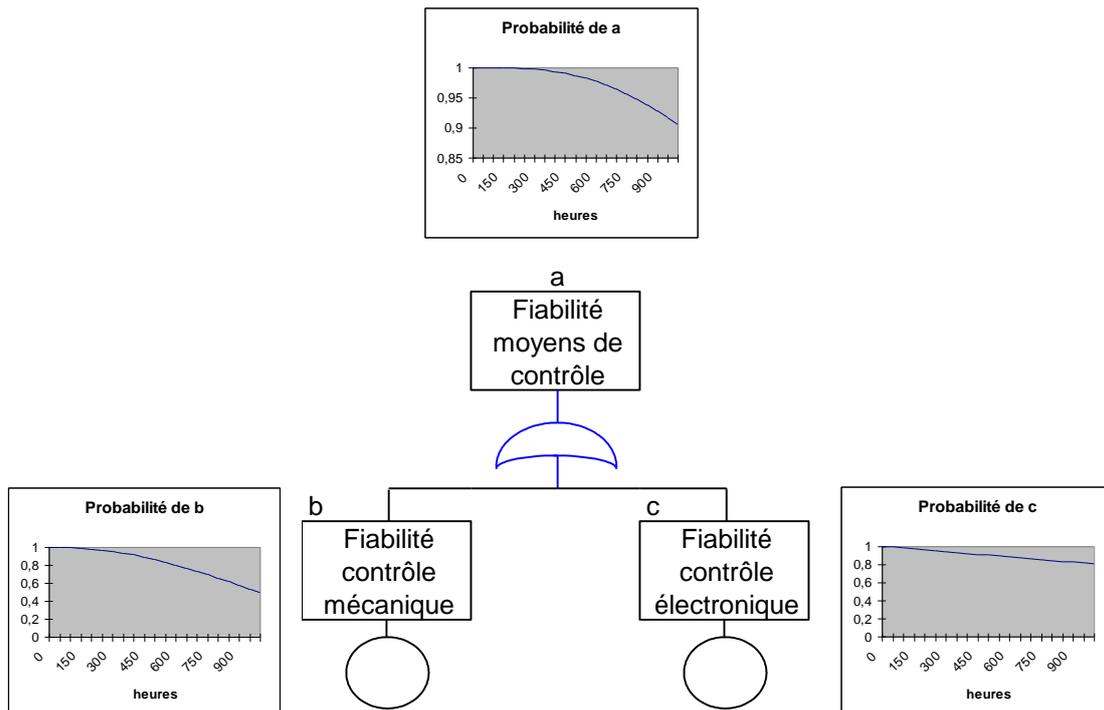
## Equipement A (mécanique) : Loi de Weibull



## Equipement B (électronique) : loi exponentielle

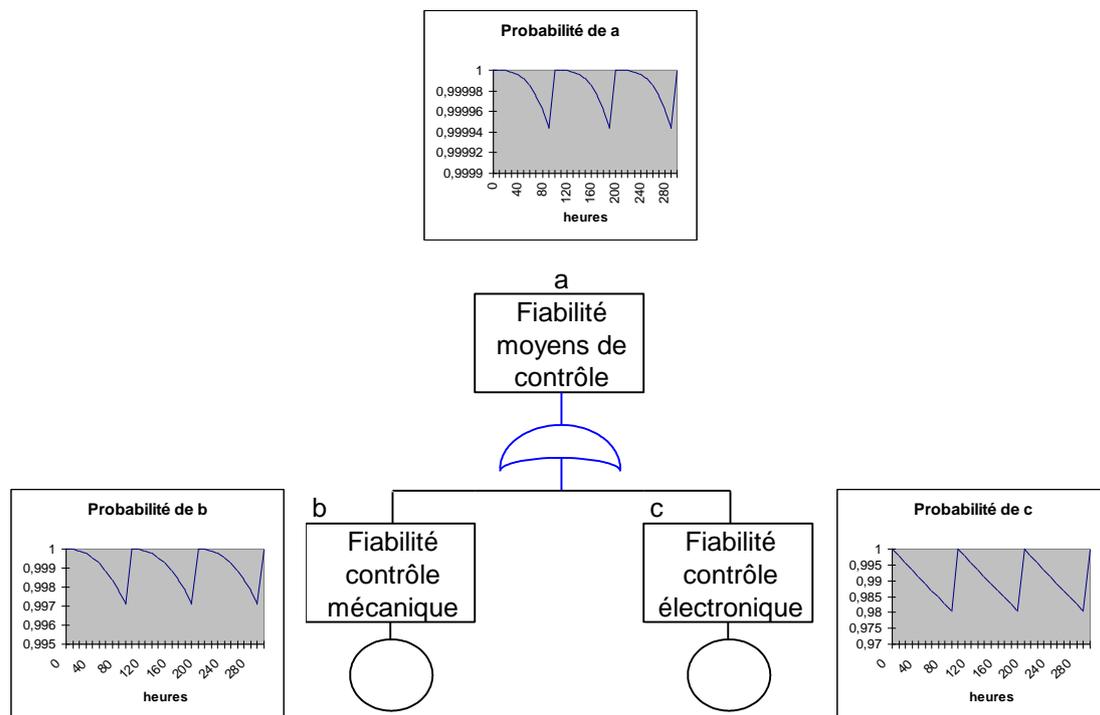


La fiabilité de l’ensemble des moyens de contrôle peut être évaluée au moyen de l’outil d’arbre de fautes CABTREE comme indiqué ci-dessous :

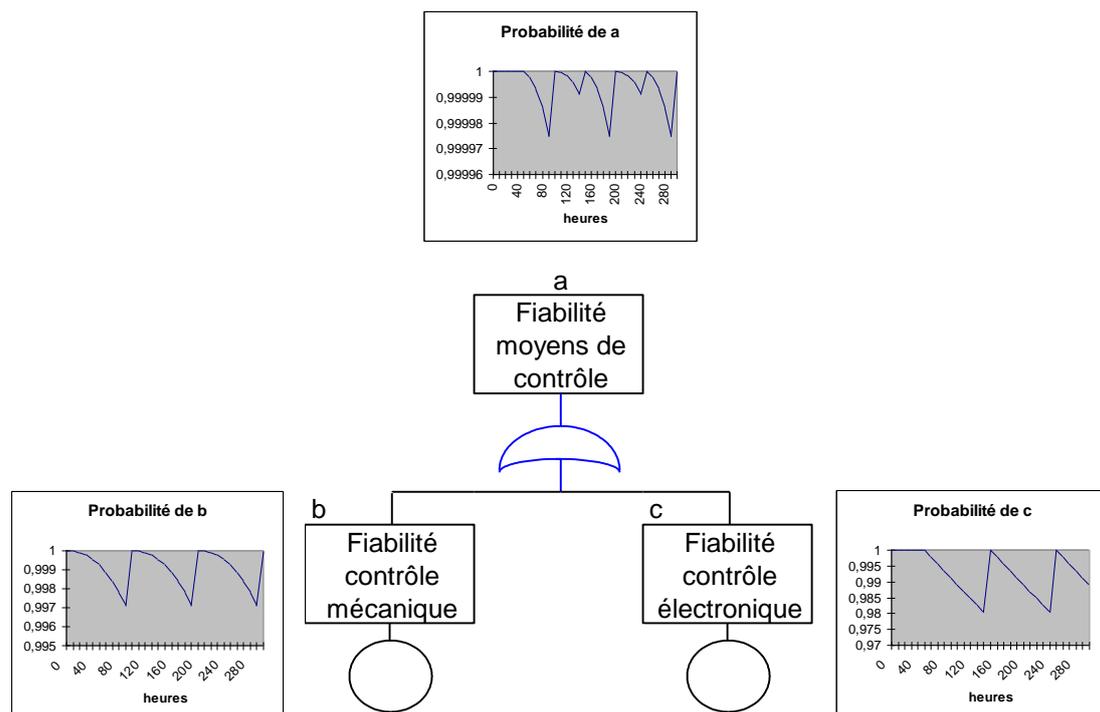


## 2 – Apport des actions de maintenance préventive

L'apport des actions de maintenance préventive peut s'évaluer directement par l'outil en considérant des lois exponentielle et de Weibull réinitialisées périodiquement toute les 100 heures (maintenance 100 % efficace avec remise à neuf).



La synchronisation des actions de maintenance sur les équipements A et B n'apparaît pas judicieuse car elle augmente la probabilité de perte de l'ensemble des moyens de contrôle juste avant leur réalisation. On remarque, à ce propos, qu'une évaluation réalisée à partir de valeurs moyennes donnerait, dans ce cas, des résultats optimistes (les événements b et c ne sont pas indépendants en raison de la synchronisation de leur maintenance). Des actions alternées, toutes les 50 heures par exemple, se révèlent sensiblement plus efficaces :



### 3 – Optimisation de l’occurrence des actions de maintenance préventive

N’étant constitué que de deux éléments en redondance, le système peut s’évaluer simplement au moyen d’une feuille du tableur, comme indiqué ci-dessous (résultats et formules), en fonction de la périodicité des actions de maintenance (Pm et Pe) et du déphasage initial entre celles-ci (Te0). Proposées par l’outil (Simcab), les fonctions de répartition des lois exponentielle et de Weibull (Fx\_Exp et FX\_Wei) utilisées dans les calcul peuvent également s’exprimer par les expressions :

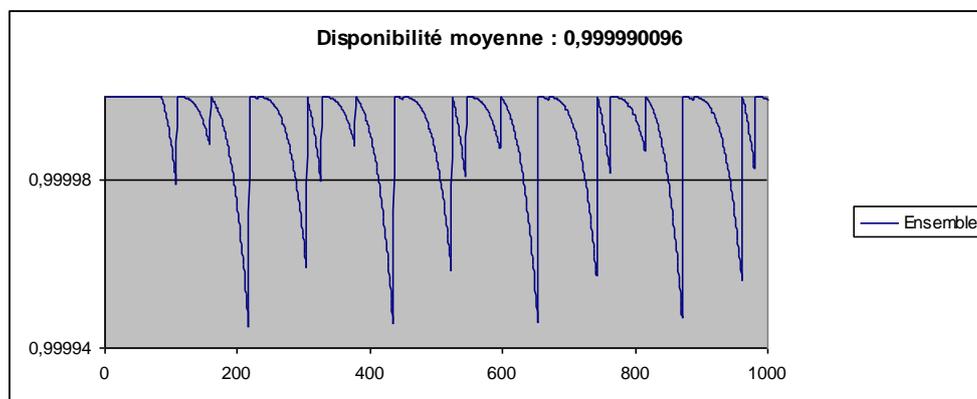
$$\text{EXP}(-(\text{Lambda} * \text{T})) \quad \text{et} \quad \text{EXP}(-((\text{T}/\text{Sigma})^{\text{Bêta}}))$$

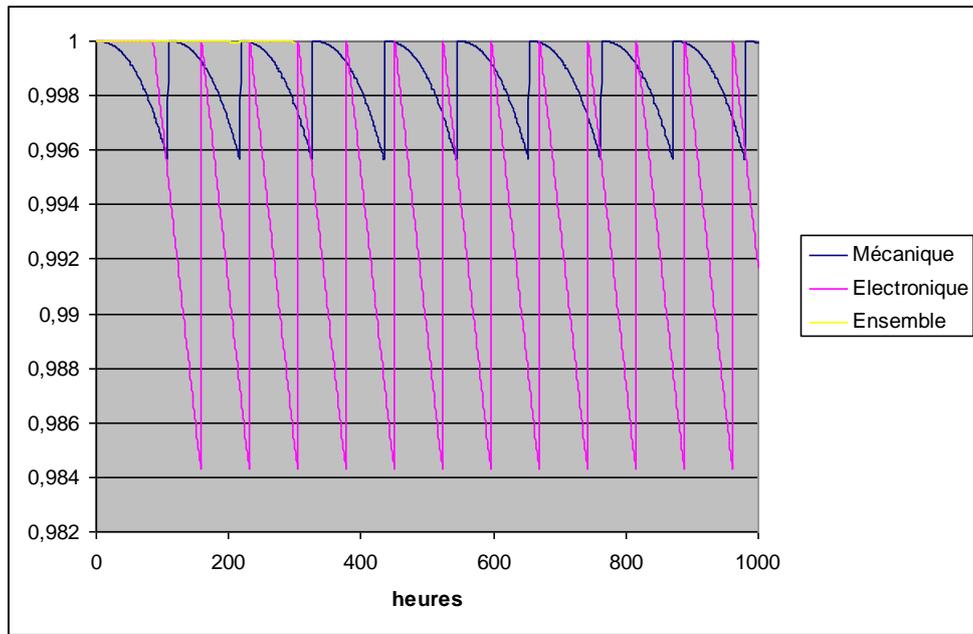
La disponibilité moyenne sur 1000 heures peut alors être calculée en utilisant les fonctions du tableur ainsi que le coût horaire de la maintenance (500/Pm+100/Pe).

Une optimisation peut alors être réalisée, au moyen de l’outil Gencab, pour trouver la configuration (Pm, Pe et Te0) qui minimise le coût de la maintenance tout en satisfaisant la contrainte de tenue de l’objectif de disponibilité (0,99999).

	E	F	G	H	I
1					
2		<b>Mécanique</b>	<b>Electronique</b>	<b>Disponibilité moyenne</b>	<b>Coût/hr</b>
3					
4	Te0	0	86	0,999990096	5,957018977
5	Période	109	73	0,99999	
6					
7					
8	<b>T</b>	<b>Mécanique</b>	<b>Electronique</b>	<b>Ensemble</b>	
9					
10	0	1	1	1	
11	1	0,999999899	1	1	
12	2	0,999999951	1	1	
13	3	0,999998765	1	1	
14	4	0,999997621	1	1	

	E	F	G	H
7				
8	<b>T</b>	<b>Mécanique</b>	<b>Electronique</b>	<b>Ensemble</b>
9				
10	0	=1-FX_Wei(2,28;1171;;MOD(E10;Pm))	=1-FX_Exp(0,00022;;;MOD(MAX(0;E10-Te0);Pe))	=1-(1-F10)*(1-G10)
11	=E10+1	=1-FX_Wei(2,28;1171;;MOD(E11;Pm))	=1-FX_Exp(0,00022;;;MOD(MAX(0;E11-Te0);Pe))	=1-(1-F11)*(1-G11)
12	=E11+1	=1-FX_Wei(2,28;1171;;MOD(E12;Pm))	=1-FX_Exp(0,00022;;;MOD(MAX(0;E12-Te0);Pe))	=1-(1-F12)*(1-G12)





Dans le cas d'une architecture plus complexe qu'une simple redondance, le système peut faire l'objet d'un modèle de simulation récursive puis d'une optimisation, comme l'illustre l'exemple suivant (maximisation de la disponibilité dans une enveloppe de coût).

**Copie de Archi.xls [Lecture seule]**

	Exponentielle		Weibull		Maintenance		T0	Ti	Tj	delta
	$\lambda_{ON}$	$\lambda_{OFF}$	$\beta$	$\sigma$	Coût	Période				
A	0,0005				300	911	1	1	426	1
B	0,0008				100	272	1	1	401	1
C			2	1100	500	456	1	0	15	0
D	0,0008	0,00008			2000	1938	1	1	1505	1

Dispo : 1  
 Dispo moyenne : 1,00000  
 sur N histoires : 0,98026  
 Coût de la maintenance préventive / heure : 2,82646  
 Objectif : 3 Euros/hr

Initialisation  
 Pas à pas  
 Simulation

Diagram: ((A+B)\*C)+D  
 D froid

**Archi.xls**

	Exponentielle		Weibull		Maintenance		T0	Ti	Tj
	$\lambda_{ON}$	$\lambda_{OFF}$	$\beta$	$\sigma$	Coût	Période			
A	0,0005				300	=Pa	1	1	=SI(k4=0;"";L_Exp(B4))
B	0,0008				100	=Pb	1	1	=SI(k5=0;"";L_Exp(B5))
C			2	1100	500	=Pc	1	1	=SI(k6=0;"";L_Weib(D6,E6))
D	0,0008	0,00008			2000	=Pd	1	0	=SI(k7=0;"";L_Exp(SI(ET(OU(k4=1;k5=1);k6=1);C7,B7)))

Dispo : =SI(OU(ET(OU(k4=1;k5=1);k6=1);k7);1,0)  
 Dispo moyenne : =(k11\*Ti+P9\*delta)/Tj  
 sur N histoires : =Moyenne\_Résultat  
 la maintenance préventive / heure : =(F4/G4)+(F5/G5)+(F6/G6)+(F7/G7)  
 Objectif : 3 Euros/hr