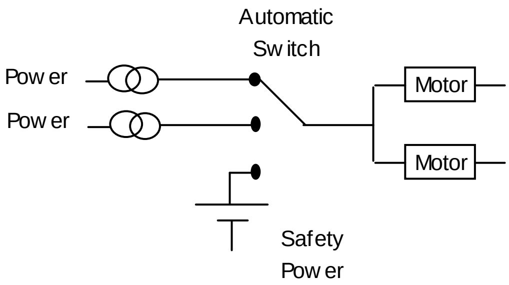
TP SdF N° 9

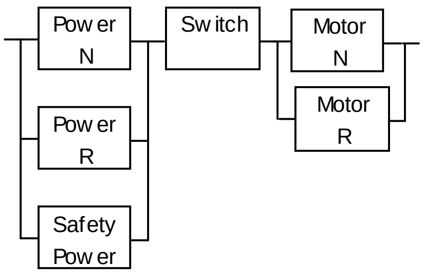
Optimisation de la maintenance d'un système électrique

Ce TP a pour objet d'optimiser la maintenance d'un petit système électrique constitué de deux alimentations en redondance secourues par une batterie d'accumulateurs, d'un commutateur automatique et de deux moteurs en redondance.

La disponibilité maximale du système est recherchée en respectant une contrainte de coût à ne pas dépasser.

Concernant un système non markovien, ce problème sera traité au moyen d'un modèle de simulation récursive.





Les caractéristiques des différents constituants sont indiquées dans la table suivante :

	Panne				Autonomie	Maintenance				Coût
	Exp	*Solicitation*	*Weibull*			*Exp*	*Lognormal*			€/hr
	λ	γ	β	σ	τ	μ	m	σ	T	Total
Power N	8E-04					$\mu 1$				$(600-1/\mu 1)/1000$
Power R	8E-04					$\mu 1$				$(600-1/\mu 1)/1000$
Safety power	9E-04				τ				T	$(2100-T+\tau*20)/1000$
Switch		0,01				$\mu 2$				$(600-1/\mu 2)/1000$
Motor N			3	3000			m	0,50		$(2100-e^{m})/1000$
Motor R			3	3000			m	0,50		$(2100-e^{m})/1000$

Les alimentations sont caractérisées par des taux de panne et de réparation constants ($100 \leq 1/\mu 1 \leq 500$ heures).

Ayant une autonomie limitée ($25 \leq \tau \leq 100$ heures), la batterie a également un taux de défaillance constant mais ne fait l'objet que d'une maintenance périodique ($500 \leq T \leq 2000$ heures).

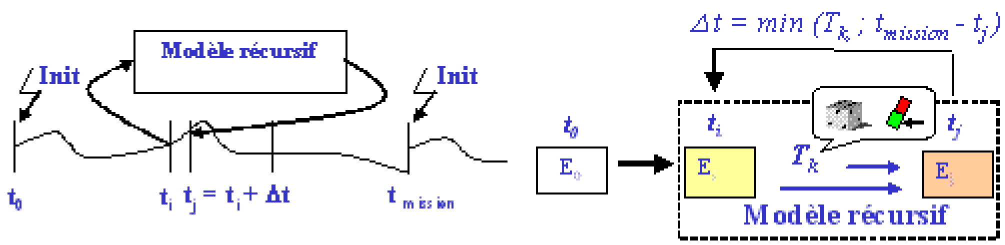
Le commutateur est soumis à un taux de panne à la sollicitation et son taux de réparation est constant ($100 \leq 1/\mu 2 \leq 500$ heures).

Les moteurs sont soumis à usure (Weibull) et leur durée de réparation est modélisée par une loi lognormale ($500 \leq \exp(m) \leq 2000$ heures).

Les coûts de la maintenance horaire et ceux liés au dimensionnement de la batterie peuvent être évalués au moyen des fonctions paramétriques propres à chacun des constituants indiquées dans la dernière colonne de la table.

Le coût global étant limité à 4 €/heure, quelle est la configuration des 5 paramètres $\mu 1$, $\mu 2$, τ, T et m qui maximise la disponibilité du système pendant une durée de 10000 heures?

1 – Rappel sur les modèles de simulation récursive

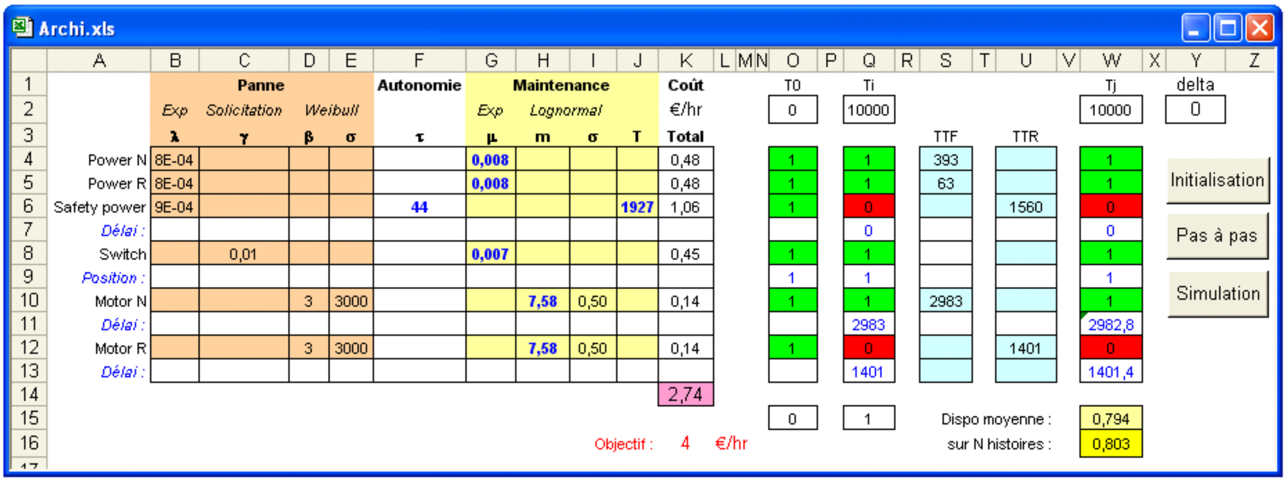


Mise en oeuvre par l'outil SIMCAB, la modélisation récursive consiste à décrire une transition générique entre deux instants courants t et t + Δt correspondant à l'occurrence de changements aléatoires d'état du système (défaillance, remise en service…) ou au franchissement de certains seuils par des variables continues (alarme…). Ce modèle est défini par l'utilisateur au moyen des fonctions du tableur et de fonctions additionnelles de tirage aléatoire de diverses lois de probabilité (une vingtaine proposée par l'outil).

En partant d'un état initial E0, l'outil recopie l'état Ej de sortie du modèle (défini dans une plage de cellules) dans l'état Ei en entrée du modèle (dans une plage similaire), pendant toute la durée de la mission, en prenant comme incrément de temps (Δt = Tk) la plus petite valeur calculée dans une autre plage de cellules.

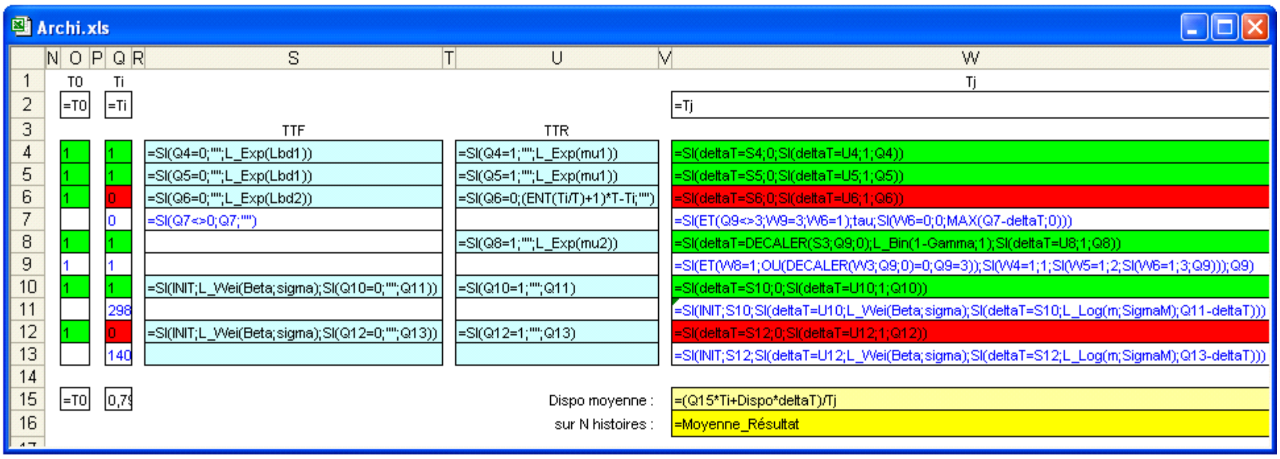
2 – Modélisation du système

Le modèle de simulation du système électrique est décrit ci-dessous :



Archi.xls

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	O	Q	S	U	W	Y
1			Panne			Autonomie		Maintenance			Coût		T0	Ti			Tj	delta
2		Exp	Solicitation	Weibull			Exp	Lognormal			€/hr		0	10000			10000	0
3		λ	γ	β	σ	τ	μ	m	σ	T	Total				TTF	TTR		
4	Power N	8E-04					0,008				0,48		1	1	393		1	
5	Power R	8E-04					0,008				0,48		1	1	63		1	Initialisation
6	Safety power	9E-04				44				1927	1,06		1	0		1560	0	
7	Délai :													0			0	Pas à pas
8	Switch		0,01				0,007				0,45		1	1			1	
9	Position :												1	1			1	Simulation
10	Motor N			3	3000			7,58	0,50		0,14		1	1	2983		1	
11	Délai :													2983			2982,8	
12	Motor R			3	3000			7,58	0,50		0,14		1	0		1401	0	
13	Délai :													1401			1401,4	
14											2,74							
15													0	1	Dispo moyenne :		0,794	
16										Objectif :	4	€/hr			sur N histoires :		0,803	



Archi.xls

	O	Q	S	U	W
1	T0	Ti			Tj
2	=T0	=Ti			=Tj
3			TTF	TTR	
4	1	1	=SI(Q4=0;"";L_Exp(Lbd1))	=SI(Q4=1;"";L_Exp(mu1))	=SI(deltaT=S4;0;SI(deltaT=U4;1;Q4))
5	1	1	=SI(Q5=0;"";L_Exp(Lbd1))	=SI(Q5=1;"";L_Exp(mu1))	=SI(deltaT=S5;0;SI(deltaT=U5;1;Q5))
6	1	0	=SI(Q6=0;"";L_Exp(Lbd2))	=SI(Q6=0;(ENT(Ti/T)+1)*T-Ti;"")	=SI(deltaT=S6;0;SI(deltaT=U6;1;Q6))
7		0	=SI(Q7<>0;Q7;"")		=SI(ET(Q9<>3;W9=3;W6=1);tau;SI(W6=0;0;MAX(Q7-deltaT;0)))
8	1	1		=SI(Q8=1;"";L_Exp(mu2))	=SI(deltaT=DECALER(S3;Q9;0);L_Bin(1-Gamma;1);SI(deltaT=U8;1;Q8))
9	1	1			=SI(ET(W8=1;OU(DECALER(W3;Q9;0)=0;Q9=3));SI(W4=1;1;SI(W5=1;2;SI(W6=1;3;Q9)));Q9)
10	1	1	=SI(INIT;L_Wei(Beta;sigma);SI(Q10=0;"";Q11))	=SI(Q10=1;"";Q11)	=SI(deltaT=S10;0;SI(deltaT=U10;1;Q10))
11		298			=SI(INIT;S10;SI(deltaT=U10;L_Wei(Beta;sigma);SI(deltaT=S10;L_Log(m;SigmaM);Q11-deltaT)))
12	1	0	=SI(INIT;L_Wei(Beta;sigma);SI(Q12=0;"";Q13))	=SI(Q12=1;"";Q13)	=SI(deltaT=S12;0;SI(deltaT=U12;1;Q12))
13		140			=SI(INIT;S12;SI(deltaT=U12;L_Wei(Beta;sigma);SI(deltaT=S12;L_Log(m;SigmaM);Q13-deltaT)))
14					
15	=T0	0,79		Dispo moyenne :	=(Q15*Ti+Dispo*deltaT)/Tj
16				sur N histoires :	=Moyenne_Résultat

Modèle de simulation récursive et formules correspondantes

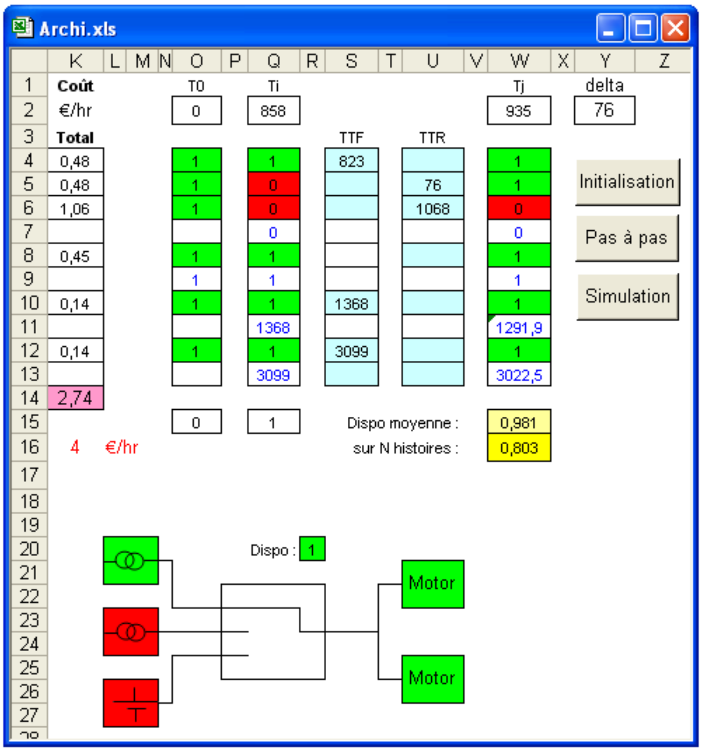
Les éléments du système sont à l’état de bon fonctionnement (1) ou de panne (0) aux instants T0, Ti et Tj. Une mise en forme conditionnelle permet de donner aux cellules correspondantes les couleurs verte ou rouge.

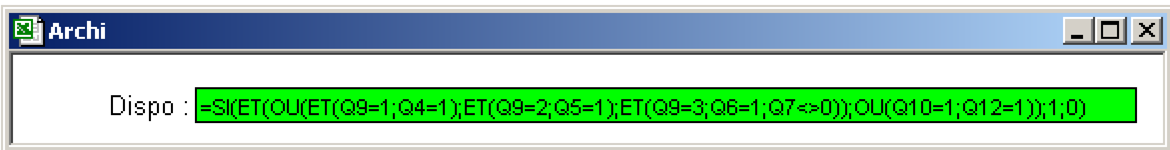
Pour les deux alimentations, les durées avant défaillance par rapport à l’instant courrant Ti (TTF) et celles avant réparation (TTR) sont obtenues respectivement par tirage de lois exponentielles (fonction L_EXP()) de taux λ1 et µ1 (avec absence de valeur dans les états non concernés soit «""»). L’état à Tj ne change alors que si l’une de ces deux valeurs correspond au plus petit incrément à l’instant courant (deltatT).

Si la durée avant défaillance de la batterie est obtenue de la même manière, sa durée avant la prochaine réparation périodique est obtenue par l’expression « ENT(Ti/T)+1)*T-Ti ». Par ailleurs, lorsque le commutateur bascule sur la batterie (position 3) et à condition que celle-ci ne soit pas en panne, un délai correspondant à la durée d’autonomie restante est initialisé à la valeur τ puis est décrémenté de deltaT à chaque transition d’état.

Si l’élément sélectionné par le commutateur tombe en panne, l’état de ce dernier est défini par le tirage d’une loi binomiale (L_BIN()) de taux Gamma représentatif des pannes à la sollicitation. La réparation est alors régie par une loi exponentielle de taux µ2. Si le commutateur fonctionne et que celui-ci sélectionne la batterie ou que l’élément sélectionné tombe en panne, le commutateur bascule sur l’une des alimentations ou à défaut sur la batterie.

Les durées de bon fonctionnement et de réparation des moteurs sont régis respectivement par des lois de Weibull (L_WEI()) et Lognormale (L_LOG()). Ces lois n’étant pas markoviennes, les durées ne sont tirées qu’une seule fois et initialisent un délai qui est décrémenté de deltaT à chaque transition d’état.





L’état de disponibilité du système correspond à la condition définie par le Bloc Diagramme de Fiabilité. La disponibilité moyenne durant la mission est mise à jour à transition d’état.

3 – Validation du modèle

Le modèle peut être simulé au pas à pas et une animation couplée au modèle peut en faciliter la validation. Un telle animation a été réalisée au moyen de mise en forme conditionnelle (couleur de cellule pour l'état des éléments et bordure pour la position du commutateur).

4- Optimisation du système

Le couplage du modèle avec l'outil d'optimisation a permis de trouver la configuration optimale suivante satisfaisant la contrainte de coût horaire (≤ 4 €/heure) après unes heure environ de traitement sur Pentium 4.

Archi

	Panne				Autonomie	Maintenance				Coût	T0	Ti			Tj
	Exp	*Solicitation*	*Weibull*			*Exp*	*Lognormal*			€/hr	0	10000			10000
	λ	γ	β	σ	τ	μ	m	σ	T	Total			TTF	TTR	
Power N	8E-04					**0,0045**				0,38	1	1	2352		1
Power R	8E-04					**0,0045**				0,38	1	1	258		1
Safety power	9E-04				**25,88**				**1966**	0,65	1	1	466		1
Délai :												0			0
Switch		0,01				**0,0034**				0,31	1	1			1
Position :											1	1			1
Motor N			3	3000			**7,081**	0,50		0,91	1	1	872		1
Délai :												872,3			872,25
Motor R			3	3000			**7,081**	0,50		0,91	1	0		1019	0
Délai :												1019			1018,6
										3,53					
											0	1	Dispo moyenne :		0,871
									Objectif :	4 €/hr			sur N histoires :		0,888

delta: 0

Initialisation

Pas à pas

Simulation