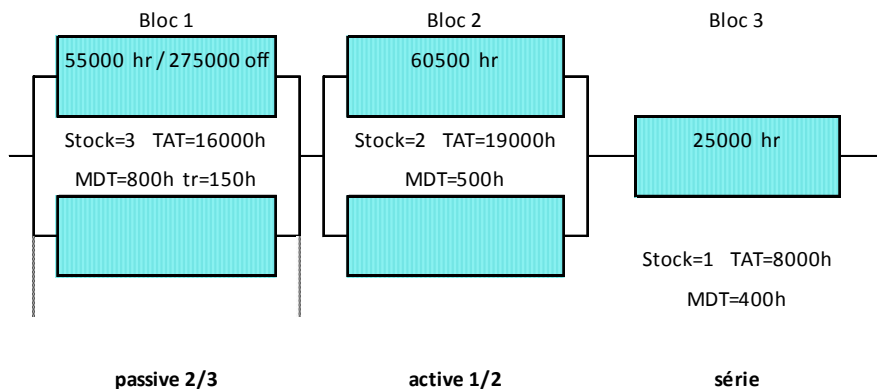


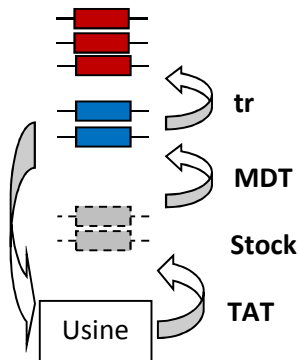
TP N° 55

Disponibilité opérationnelle et optimisation de la maintenance

L'objet de ce TP est d'évaluer la disponibilité opérationnelle d'une même architecture par simulation et traitement markovien puis d'optimiser sa maintenance.



Redondance M/N



MTTF (Mean time to Failure) OFF = 10 MTTF ON par défaut

Stock : nombre d'éléments de rechange

tr : Temps de reconfiguration d'un élément redondant

MDT (Mean Down Time) : temps de détection + délai avant intervention + MTTR + durée de remise en service

MTTR (Mean Time To Repair) : durée moyenne de réparation correspondant ici à un échange standard

TAT (Turn Around Time) : temps de retour usine ou de réapprovisionnement

- 1) Evaluer la disponibilité intrinsèque et la disponibilité opérationnelle de l'architecture ci-dessus à 100000 heures et à l'infini (asymptotique) par traitement markovien (on fera l'hypothèse d'un opérateur et d'un réparateur unique par bloc).
- 2) Comparer les résultats asymptotiques à ceux obtenus par une formule approchée utilisant la loi de Poisson pour estimer la probabilité de rupture des stocks de rechanges.
- 3) Comparer les résultats à 100000 heures à ceux obtenus par simulation de Monte-Carlo.
- 4) Proposer une optimisation de l'ensemble des paramètres de maintenance en satisfaisant un objectif de disponibilité opérationnelle.

1 - Traitement markovien

La disponibilité de l'architecture se calcule directement à partir d'une table au moyen de l'outil SUPERCAB comme indiqué ci-après.

La présence ou l'absence de valeur de dimensionnement des stocks de rechanges conduit respectivement à un calcul de disponibilité opérationnelle ou de disponibilité intrinsèque (à stock de rechange infini).

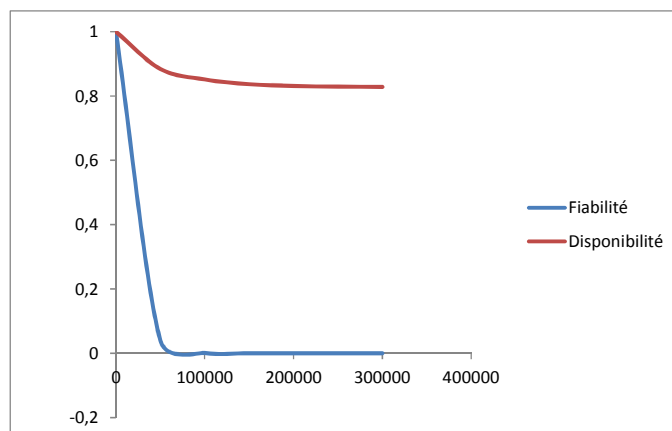
ELEMENTS	MTTF ON (heure)	Nb	Type de redondance	MTTF OFF (heure)	Taux d'utilisation r (%)	Durée de reconfig. (heure)	MDT (heure)	Nombre d'opérateurs (1 ou n)	Stock de rechanges	TAT (heure)	Nombre de réparateurs (1 ou n)	Disponibilité à t infini
Bloc 1	55000		passive 2/3	275000		150	800		3	16000		0,944311461
Bloc 2	60500		active 1/2				500		2	19000		0,964052503
Bloc 3	25000		série				400		1	8000		0,909235056
\$ ENSEMBLE												0,827736524

ELEMENTS	MTTF ON (heure)	Nb	Type de redondance	MTTF OFF (heure)	Taux d'utilisation r (%)	Durée de reconfig. (heure)	MDT (heure)	Nombre d'opérateurs (1 ou n)	Stock de rechanges	TAT (heure)	Nombre de réparateurs (1 ou n)	Disponibilité à t infini
Bloc 1	55000		passive 2/3	275000		150	800					0,994715459
Bloc 2	60500		active 1/2				500					0,999865637
Bloc 3	25000		série				400					0,984251969
\$ ENSEMBLE												0,9789191

Le calcul est asymptotique ou transitoire et s'effectue au moyen d'une formule générique de redondance m parmi n avec stock de rechange¹ qui génère puis traite une matrice de Markov avant de fournir le résultat.

ELEMENTS	MTTF ON (heure)	Nb	Type de redondance	MTTF OFF (heure)	Taux d'utilisation r (%)	Durée de reconfig. (heure)	MDT (heure)	Nombre d'opérateurs (1 ou n)	Stock de rechanges	TAT (heure)	Nombre de réparateurs (1 ou n)	Fiabilité T (hr) = 100000	Disponibilité T (hr) = 100000
Bloc 1	55000		passive 2/3	275000		150	800		3	16000		0,1066714	0,96206482
Bloc 2	60500		active 1/2				500		2	19000		0,34631998	0,97337226
Bloc 3	25000		série				400		1	8000		0,01831564	0,90924419
\$ ENSEMBLE												0,00067662	0,85145918

ELEMENTS	MTTF ON (heure)	Nb	Type de redondance	MTTF OFF (heure)	Taux d'utilisation r (%)	Durée de reconfig. (heure)	MDT (heure)	Nombre d'opérateurs (1 ou n)	Stock de rechanges	TAT (heure)	Nombre de réparateurs (1 ou n)	Fiabilité T (hr) = 100000	Disponibilité T (hr) = 100000
Bloc 1	55000		passive 2/3	275000		150	800					0,1066714	0,99471546
Bloc 2	60500		active 1/2				500					0,34631998	0,99986564
Bloc 3	25000		série				400					0,01831564	0,98425197
\$ ENSEMBLE												0,00067662	0,9789191



Feuille de calcul
Microsoft Excel

¹ Une première formule de redondance m parmi n avec stock de rechange a fait l'objet d'une publication au congrès MOSIM en 2003 (www.cabinnovation.com/content/articles).

Une seconde formule plus élaborée (REDONDANCE) est décrite dans le manuel utilisateur de l'outil (www.cabinnovation.com/content/supercab).

2 - Probabilité de rupture des stocks de rechanges

Les résultats obtenus précédemment montrent que l'indisponibilité opérationnelle de l'architecture est principalement due à la rupture des stocks de rechanges.

La probabilité de rupture des stocks de rechanges peut être estimée par la loi de Poisson en considérant la probabilité d'avoir plus de pannes que d'éléments dans le stock pendant la durée TAT.

La disponibilité opérationnelle asymptotique peut alors être évaluée par la formule approchée suivante :

$$\text{Disponibilité} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MDT} + \text{Probabilité}_{\text{rupture du stock}} * \text{TAT})$$

Élément	Nb	MTBF _(hr)	MDT _(hr)	TAT _(hr)	Stock	P _{rupture}	Disponibilité
Bloc 1	3	55000	800	16000	3	0,012154	0,948547
Bloc 2	2	60500	500	19000	2	0,025982	0,968196
Bloc 3	1	2500	400	800	1	0,041483	0,852315
							0,782750



Feuille de calcul
Microsoft Excel

On remarque que les résultats obtenus ne sont pas trop éloignés de ceux calculés précédemment en asymptotique à l'exception de celui du bloc 3 qui apparaît conservateur par rapport à celui qui a été obtenu par traitement du modèle markovien suivant.

Mat :	1	2	3	4
ok : 1	-	λ_{on}	λ_{off}	
Perte de l'élément actif : 2		-	1/MDT	λ_{off}
Perte de l'élément de rechange : 3	1/TAT		-	λ_{on}
Perte des deux éléments : 4		1/TAT		-
Init :	1	0	0	0
Etats :	1	0	1	0

3 – Simulation de Monte-Carlo

La même architecture peut faire l'objet d'une simulation de Monte-Carlo au moyen de l'outil SIMCAB. Celui-ci permet également de saisir les caractéristiques de l'architecture dans une table puis de générer un simulateur, basé sur les modèles de simulation récursive, comme indiqué ci-après.

Architecture

Passif	Simulateur
Rechange	BDF

N°	Equipement	Panne		Réparation		Condition _{OFF}	Passif				Stock rechange				
		Loi	λ	Loi	μ		Loi	λ_{OFF}	Loi	T_{Reconf}	γ	N°	S	Loi	TAT
1	Bloc 11	EXP	0,000018	EXP	0,0012500		EXP		EXP			1	3	EXP	16000
2	Bloc 12	EXP	0,000018	EXP	0,0012500		EXP		EXP			1		EXP	
3	Bloc 13	EXP	0,000018	EXP	0,0012500	1*2	EXP	4E-06	EXP	150		1		EXP	
4	Bloc 21	EXP	0,000017	EXP	0,0020000		EXP		EXP			4	2	EXP	19000
5	Bloc 22	EXP	0,000017	EXP	0,0020000		EXP		EXP			4		EXP	
6	Bloc 3	EXP	0,000040	EXP	0,0025000		EXP		EXP			6	1	EXP	8000

Fonctionnement		
N°	Nom	Condition
1	Bloc 1	2/3(E1+E2+E3)
2	Bloc 2	1/2(E4+E5)
3	Bloc3	E6
4	Architecture	F1*F2*F3

TO		Ti		Tj		DeltaT	
0		0		0		0	

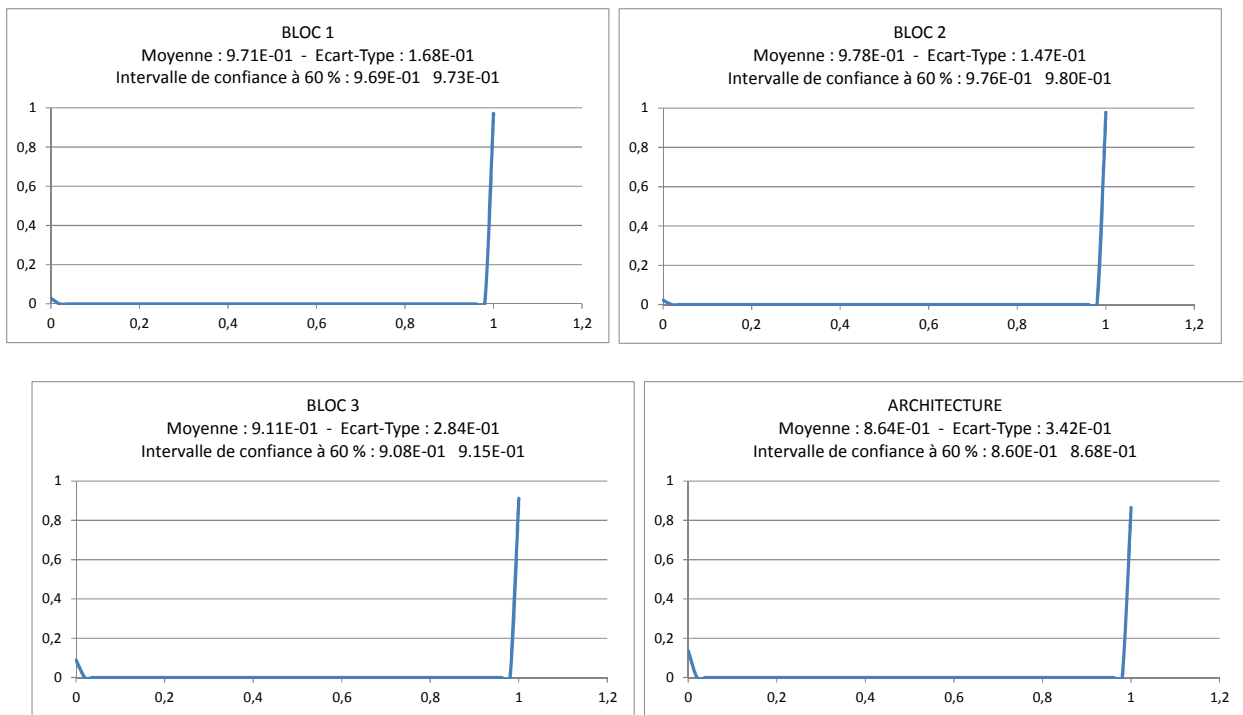
Equipements	TTF	TTR	TTS	TAT
E1:	5086,87		0,00	3
E2:	15145,89			2
E3:	36143,88			1
E4:	74799,20			
E5:	35802,63			
E6:	42517,11			

Fonctions	Moyenne/mission
F1:	1
F2:	1
F3:	1
F4:	1



Feuille de calcul
Microsoft Excel

Les résultats de disponibilité opérationnelle à 100000 h obtenus après 5000 simulations sont fournis ci-après. Ils se révèlent conformes à ceux obtenus précédemment par traitement markovien.



Remarques :

- La simulation de Monte-Carlo fournis des résultats moins précis que ceux obtenus par traitement markovien mais est plus riche en capacité de modélisation. Elle permet notamment de considérer des stocks de rechanges partagés entre divers blocs.
- Des modèles markoviens indépendants peuvent cependant s’insérer dans un modèle global de type arbre de fautes (fonction PROBA() de l’outil SUPERCAB).
- Le calcul markovien (résolution d’équations différentielles du premier ordre) est beaucoup plus rapide que la simulation et peut plus facilement se coupler à l’optimisation.
- L’hypothèse du nombre de réparateurs chez les fournisseurs (1 : réparations séquentielles des rechanges ou n : réparations simultanées) à une grande influence sur les résultats obtenus comme indiqués ci-après.

ELEMENTS	MTTF ON (heure)	Nb	Type de redondance	MTTF OFF (heure)	Taux d'utilisation r (%)	Durée de reconfig. (heure)	MDT (heure)	Nombre d'opérateurs (1 ou n)	Stock de rechanges	TAT (heure)	Nombre de réparateurs (1 ou n)	Disponibilité à t infini
Bloc 1	55000		passive 2/3	275000		150	800		3	16000	n	0,992476756
Bloc 2	60500		active 1/2				500		2	19000	n	0,995831487
Bloc 3	25000		série				400		1	8000	n	0,945257488
\$ ENSEMBLE												0,934235411

4 – Optimisation

L’ensemble des paramètres de maintenance peut faire l’objet d’une optimisation sous contrainte afin de diminuer les coûts d’exploitation tout en satisfaisant un objectif de disponibilité opérationnelle.

A titre d'exemple, on considère un objectif de disponibilité de 0,92 et les coûts suivants en pourcentage du coût initial d'installation :

- Rechanges : bloc 1 : 1 % bloc 2 : 2 % bloc 3 : 5 %
- Diminution de 50% des MDT par renforcement des équipes d'opérateurs (nombre, travail le weekend, astreintes, etc.) :
 bloc 1 : 2 % bloc 2 : 2 % bloc 3 : 2 %
- Diminution de 50% des TAT par renégociation des contrats de maintenance (priorité chez les fournisseurs, renforcement des équipes de réparation, etc.) :
 bloc 1 : 3 % bloc 2 : 2 % bloc 3 : 3 %
- Les coûts sont considérées linéaires entre 100% et 50% des valeurs initiales pour les MDT et les TAT.

Réalisé par couplage des outils GEN CAB et SUPER CAB, l'optimisation de ce cas d'école donne les résultats suivants pour les 9 paramètres de maintenance.

ELEMENTS	MTTF ON (heure)	Nb	Type de redondance	MTTF OFF (heure)	Taux d'utilisation (%)	Durée de reconfig. (heure)	MDT (heure)	Nombre d'opérateurs (1 ou n)	Stock de rechanges	TAT (heure)	Nombre de réparateurs (1 ou n)	Disponibilité à t infini	Coût
Bloc 1	55000		passive 2/3	275000		150	501		2	10018		0,9767	4,25%
Bloc 2	60500		active 1/2				284		1	10801		0,9838	3,74%
Bloc 3	25000		série				244		1	4883		0,9574	7,34%
\$ ENSEMBLE												0,9200	15,33%

Objectif : 0,92



Feuille de calcul
Microsoft Excel

Fichiers de calcul Excel accessibles par un double clic de souris sur les icônes :