

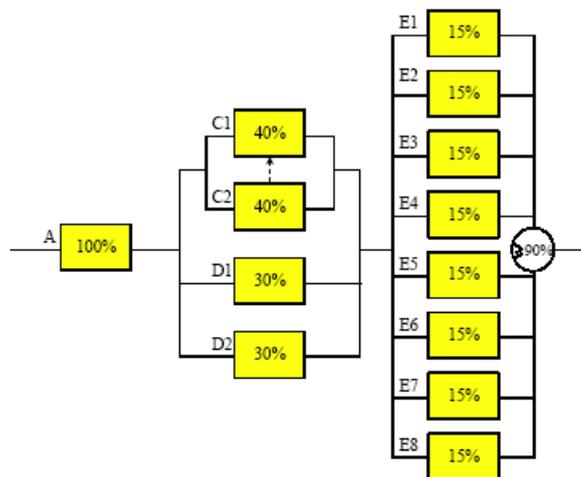
# TP SdF N° 4

## Evaluation et optimisation de la capacité d'un moyen de production

Ce TP porte sur le cas-test **MINIPLANT** de l'IMDR/ESRA concernant la capacité d'un système de production. Traité par modélisation récursive (outil SIMCAB), ce cas fait l'objet de deux propositions d'évolution ici résolues :

- **MINIPLANT +** : avec introduction de dépendance stochastique, phénomène d'usure, maintenance périodique, choix du nombre de réparateurs et évolution de la demande.
- **MINIPLANT PRO** : avec introduction de données de coût, afin de pouvoir optimiser un tel moyen de production (traité par couplage entre les outils SIMCAB et GENCAB).

### 1 - Le cas test MINIPLANT



Proposé Marc BOUISSOU d'EDF R&D, le cas test MINIPLANT est représenté par un diagramme de Fiabilité / Capacité permettant de modéliser une installation capable de fonctionner avec plusieurs niveaux de production. Chaque bloc contribue à la capacité de production (exprimée en pourcentage) de l'ensemble en redondance dont il fait partie. Les blocs C1 et C2 sont en redondance passive froide (C2 ne fonctionne qu'en cas de panne de C1 avec un taux de défaillance nul à l'état OFF) et les blocs E1 à E8 ne fonctionnent que si au moins 6 d'entre eux sont opérationnels afin de dépasser un seuil minimal de 90% de capacité pour ce dernier sous-système. La capacité globale du système est égale à la plus faible des capacités des trois sous-systèmes en série.

Deux politiques de maintenance sont envisagées : un réparateur par bloc ou un seul réparateur par sous-système avec réparation des blocs dans l'ordre d'apparition des défaillances. Les caractéristiques des différents blocs sont fournies dans le tableau suivant :

Blocs	MTTF (heures)	MTTR (heures)	Capacité (%)
A	50 000	200	100
C1, C2	10 000	500	40
D1, D2	1 000	10	30
E1 à E8	5 000	100	15



MTTF

MTTR

=SI(J10=0;"";L_Exp(C10))	=SI(OU(J10=1;ET(Réparateur_unique;K10<>0));"";L_Exp(D10))
--------------------------	---

Chaque état (à T<sub>0</sub>, T<sub>i</sub> et T<sub>j</sub>) est défini par deux colonnes dont celle de gauche donne l'état de fonctionnement des différents blocs et celle de droite indique le nombre de réparations non achevées du sous-système avant la panne du bloc considéré. Dans le cas d'un réparateur unique par sous-système, le MTTR n'est tiré que lorsque ce nombre est nul. L'état du bloc à T<sub>j</sub> diffère de l'état à T<sub>i</sub> que si l'incrément de temps deltaT correspond au MTTF ou au MTTR du bloc considéré. Le nombre de réparations préalables, initié à la défaillance du bloc considéré, est décrémenté à chaque réparation de l'un des blocs du sous-système.

Etat à T<sub>j</sub>

=SI(deltaT=L10;0;SI(deltaT=M10;1;J10))
--

Nombre de réparations préalables

=SI(deltaT=L10;4-SOMME(J\$7:J\$11);SI(SOMME(O\$7:O\$11)>SOMME(J\$7:J\$11);MAX(0;K10-1);K10))
--

L'expression du TTF du bloc C2 diffère de celle des autres pour tenir compte de la redondance froide.

MTTF

=SI(OU(J7=1;J8=0)"";L_Exp(C8))
--------------------------------

La capacité globale de production est définie par une expression dans laquelle le seuil minimum de 6 blocs opérationnels parmi les 8 du troisième sous-système est pris en compte ainsi que sa valeur moyenne de T<sub>0</sub> à T<sub>j</sub>.

Production

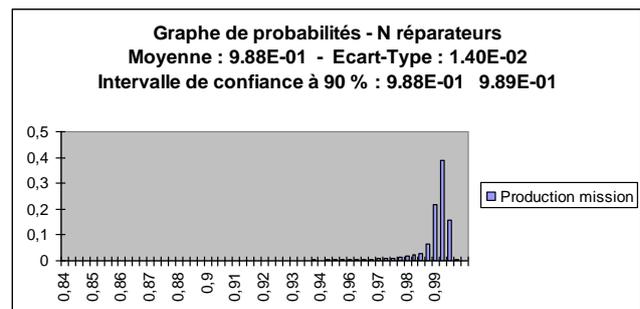
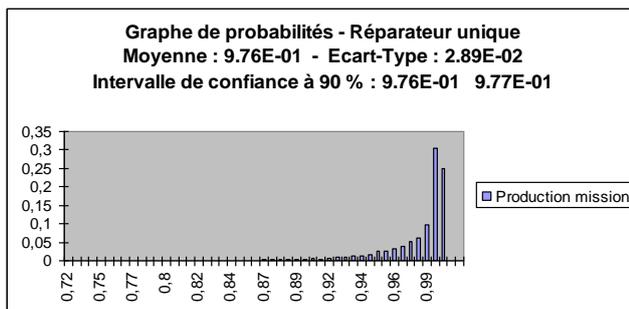
=MIN(J5*E5;MAX(J7:J8)*E7+J10*E10+J11*E11;SI(SOMME(J13:J20)<6;0;SOMME(J13:J20))*E13)
---

Moyenne / mission

=(J24*Ti+O22*deltaT)/Tj
-------------------------

#### 4 – Résultats

Les résultats de la production moyenne annuelle avec 1 ou N réparateurs sont fournis ci-dessous sous forme de distributions statistiques (après 5000 histoires).



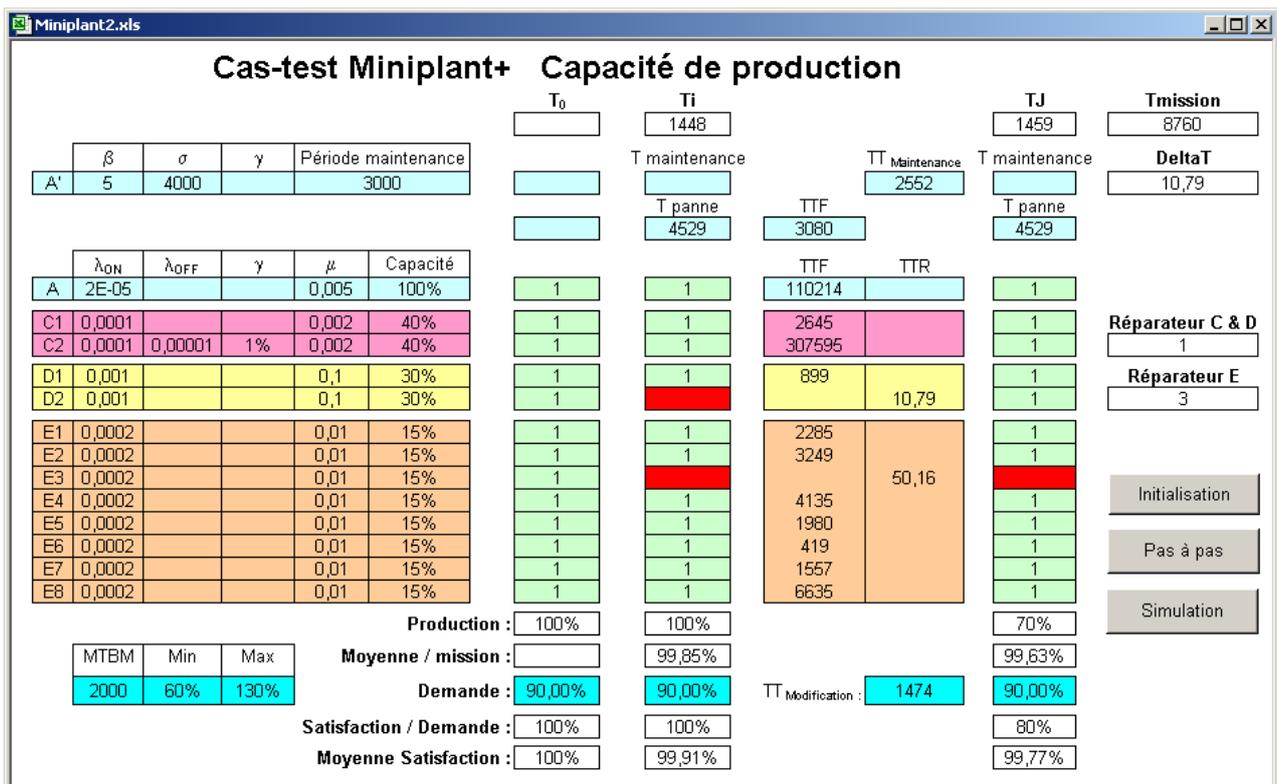
## 5 – Complexification

Afin de le rendre le cas-test Miniplant plus représentatif de problématiques réelles, quelques éléments de complexification sont proposés ci-dessous (version Multiplan +) :

- Introduction d'une dépendance stochastique : l'élément C2 de la redondance froide est affectée d'un taux de panne  $\lambda_{OFF} = \lambda_{ON} / 10$  et d'un taux de panne à la sollicitation  $\gamma = 1\%$ .
- Introduction d'un phénomène d'usure et d'une maintenance périodique : il est ajouté à l'élément A un élément en série A' soumis à usure selon une loi de Weibull ( $\beta = 5, \gamma = 0, \sigma = 4000$ ) et remplacé périodiquement (3000 heures après  $T_0$  et maintenances préventive ou corrective).
- Possibilité de choisir le nombre de réparateurs par sous-système (de 1 à n avec évaluation du cas particulier : 1 réparateur pour le sous-système 2 et 3 réparateurs pour le sous-système 3).
- Prise en compte d'une demande de production modifiée toute les 2000 heures en moyenne et répartie uniformément entre 60 % et 130 % (évaluation de la proportion de la demande réellement satisfaite).

## 6 – Traitement du cas-test Miniplant +

A partir de la résolution précédente, ce cas-test peut se traiter de la manière suivante :



**Cas-test Miniplant+ Capacité de production**

	$\beta$	$\sigma$	$\gamma$	Période maintenance	$T_0$	$T_i$	$T_j$	$T_{mission}$
A'	5	4000		3000		1448	1459	8760

	$\lambda_{ON}$	$\lambda_{OFF}$	$\gamma$	$\mu$	Capacité	$T_0$	$T_i$	TTF	TTR	$T_j$	$T_{mission}$	DeltaT
A	2E-05			0,005	100%	1	1	110214		1		10,79
C1	0,0001			0,002	40%	1	1	2645		1		
C2	0,0001	0,00001	1%	0,002	40%	1	1	307595		1		
D1	0,001			0,1	30%	1	1	899		1		
D2	0,001			0,1	30%	1	1		10,79	1		
E1	0,0002			0,01	15%	1	1	2285		1		
E2	0,0002			0,01	15%	1	1	3249		1		
E3	0,0002			0,01	15%	1	1		50,16	1		
E4	0,0002			0,01	15%	1	1	4135		1		
E5	0,0002			0,01	15%	1	1	1980		1		
E6	0,0002			0,01	15%	1	1	419		1		
E7	0,0002			0,01	15%	1	1	1557		1		
E8	0,0002			0,01	15%	1	1	6635		1		

MTBM	Min	Max	Moyenne / mission	Demande	Satisfaction / Demande	Moyenne Satisfaction
2000	60%	130%		90,00%	100%	100%

Production	$T_0$	$T_i$	$T_j$	$T_{mission}$
100%	100%	100%	70%	99,63%

TT Modification	$T_0$	$T_i$	$T_j$	$T_{mission}$
1474	90,00%	90,00%	80%	99,77%

Buttons: Initialisation, Pas à pas, Simulation

a) Dépendance stochastique : Le taux de panne OFF de l'élément C2 est pris en compte dans l'expression TTF correspondante et le taux de panne à la sollicitation dans l'expression de l'état à  $T_j$ , en y introduisant une loi binomiale en sortie de réparation :

TTF

=SI(L14=0;"";SI(L13=0;L\_Exp(C14);L\_Exp(D14)))

Etat à Tj

=SI(deltaT=N14;0;SI(ET(deltaT=O14;L\_Bin(E14;1)<>1);1;L14))

b) Loi d'usure et maintenance périodique : En raison du caractère non markovien de l'élément A', il est nécessaire de mémoriser la date du dernier remplacement (T maintenance) et celle de la future panne (T panne) tirée à cet instant par la loi L\_Wei(), et d'introduire comme nouveaux incréments de temps les durées séparant Ti à la prochaine panne (TTF) et à la future maintenance (TT<sub>maintenance</sub>) :

TT Maintenance

=L6+4000-Ti

T maintenance

=SI(deltaT=N8;Ti+N8;SI(deltaT=O6;Ti+O6;L6))

TTF

=L8-Ti

T panne

=SI(OU(Ti=0;deltaT=O6;deltaT=N8);Tj+Q6+L\_Wei(C6;D6;;;);L8)

L'état de l'élément A est alors modifié pour prendre en compte la partie A' :

Etat de A à Tj

=SI(OU(ET(NON(Tj=0);deltaT=N8);deltaT=N11);0;SI(deltaT=O11;1;L11))

c) Nombre de réparateurs : Le choix du nombre de réparateurs des sous-ensembles 2 et 3 a été dissocié et les expressions « TTR » et « Nombre de réparations préalables » ont été légèrement modifiées :

TTR

=SI(OU(L13=1;M13>=Réparateur\_C \_\_\_ D);"";L\_Exp(F13))

Nombre de réparations préalables

=SI(deltaT=N13;4-  
SOMME(L\$13:L\$17);SI(Q13=1;0;SI(SOMME(Q\$13:Q\$17)>SOMME(L\$13:L\$17);MAX(0;M13-1);M13))

d) Demande évolutive : Un nouvel incrément de temps (TT<sub>Modification</sub>) est introduit pour prendre en compte les modification de la demande (loi exponentielle de taux 1/MTBM) qui résulte d'un tirage de la loi uniforme L\_Uni() entre la valeur min et la valeur max :

TT Modification

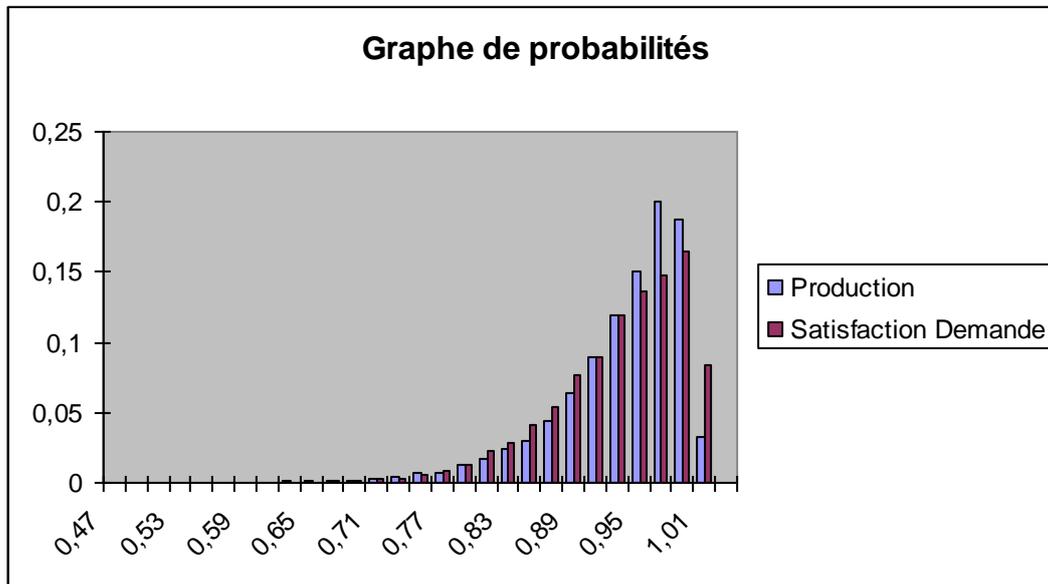
=L\_Exp(1/C32)

Demande à Tj

=SI(deltaT=O32;L\_Uni(;;;D32;E32);L32)

## 6 – Résultats

Les résultats fournis ci-dessous sont obtenus après 5000 histoires :



	Production	Satisfaction Demande
<b>Moyenne</b>	0,92401162	0,92219742
<b>Ecart-type (E)</b>	0,06013205	0,06064322
<b>Variance (P)</b>	0,00361514	0,00367686
<b>Médiane</b>	0,94074339	0,93498529
<b>Kurtosis</b>	3,46335597	1,77571296
<b>Asymétrie</b>	-	-1,16479036

### Matrice de covariances

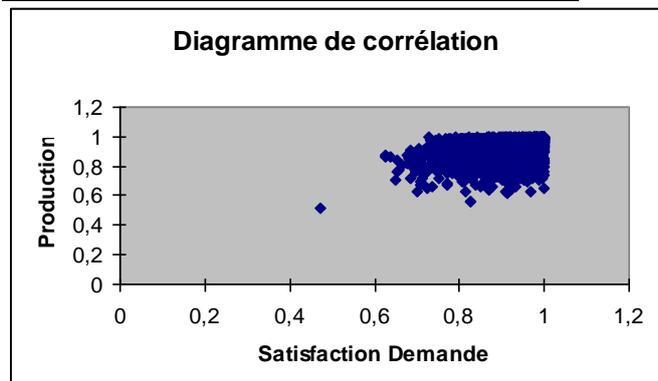
	Production	Satisfaction Demande
Production	0,00361514	0,00095004
Satisfaction Demande	0,00095004	0,00367686

### Intervalle de confiance à 99 %

	Production	Satisfaction Demande
Borne min.	0,92182114	0,91998832
Borne max.	0,9262021	0,92440652

### Matrice de coefficients de corrélation linéaire

	Production	Satisfaction Demande
Production	1	0,26057958
Satisfaction Demande	0,26057958	1



## 7 – Prise en compte de modèle de coût et optimisation

Pour mieux considérer la problématique du décideur, il est proposé ici des éléments de coûts afin de pouvoir optimiser un tel moyen de production (version Multiplan Pro).

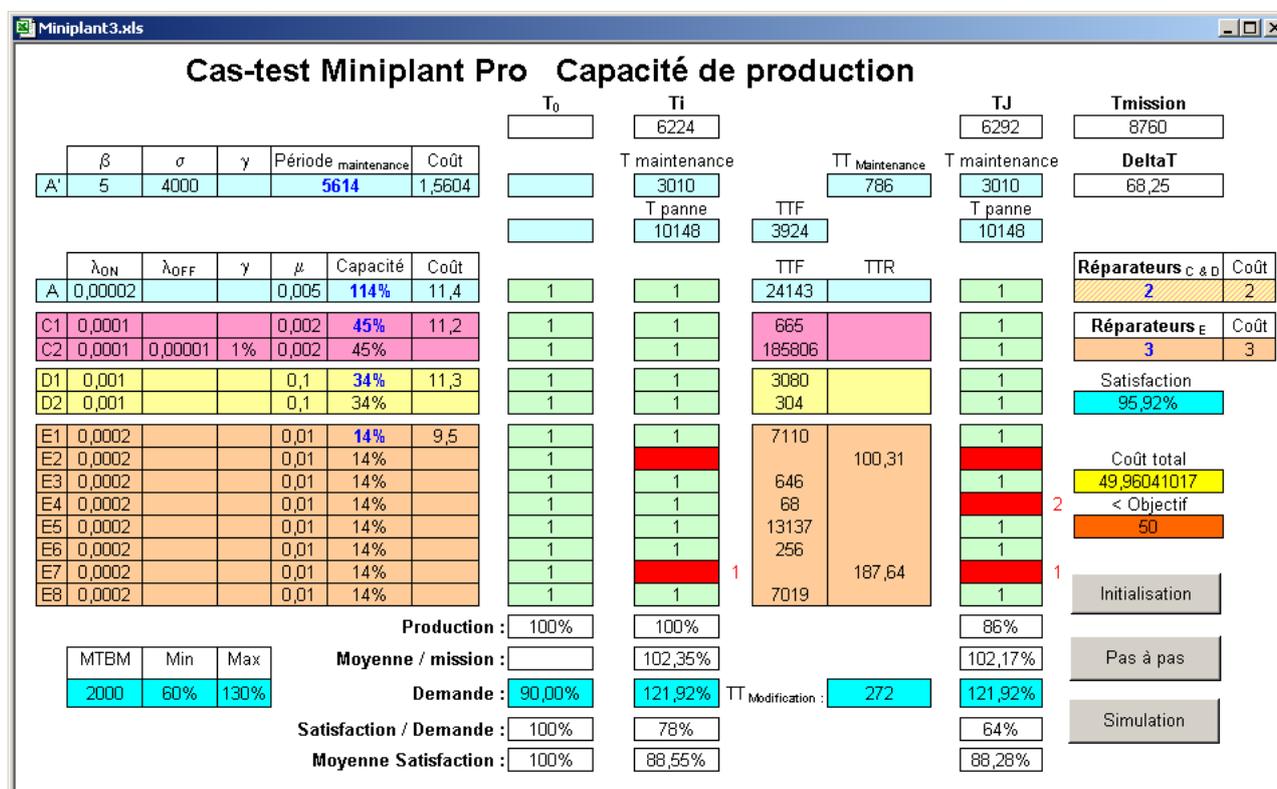
- Un maintenance annuel de l'élément A' revient à 1 unité de coût (Coût annuel = 8760 / Période de maintenance).
- L'amortissement annuel de chacun des ensembles A, C1:C2, B1:B2, E1:E8 est de 10 unités de coût pour leur capacité initiale, soit respectivement 100%, 40%, 30% et 15%, et est proportionnelle à cette capacité qui peut être modifiée dans un rapport de 0,5 à 2.
- Le coût annuel de chaque réparateur des ensembles C1:C2 + B1:B2 et E1:E8 est de 1 unité de coût.

La configuration optimale de 7 paramètres réels ou entiers (période de maintenance, capacités des différents blocs et nombres de réparateurs des ensembles C1:C2 + B1:B2 et E1:E8) est recherchée afin de maximiser la demande satisfaite tout en respectant une contrainte globale de coût (inférieure à 50 unités).

**Remarque :** Le coût des défaillances, quand elles surviennent, aurait également pu être intégré au coût global annuel de l'installation mais ce dernier n'aurait plus été déterministe. Un problème méthodologique apparaît alors pour traiter efficacement la contrainte sachant que pour une même configuration à proximité de cette limitation, celle-ci peut être indifféremment respectée ou non à chaque simulation. Cette même difficulté doit être surmontée si l'on cherche à minimiser le coût de l'installation tout en respectant une contrainte de demande satisfaite minimale (95% par exemple).

## 8 – Traitement du cas-test Miniplant Pro

Par rapport au modèle de simulation précédent, l'optimisation ne requiert que l'ajout des données de coût.



**Cas-test Miniplant Pro Capacité de production**

	$\beta$	$\sigma$	$\gamma$	Période maintenance	Coût	$T_0$	$T_i$	$T_J$	$T_{mission}$
A'	5	4000		5614	1,5604		6224	6292	8760

	$\lambda_{ON}$	$\lambda_{OFF}$	$\gamma$	$\mu$	Capacité	Coût	$T_0$	$T_i$	TT Maintenance	T maintenance	$T_{mission}$	Delta T
A	0,00002			0,005	114%	11,4	1	1	786	3010	8760	68,25
C1	0,0001			0,002	45%	11,2	1	1	3924	3010		
C2	0,0001	0,00001	1%	0,002	45%	11,2	1	1	786	3010		
D1	0,001			0,1	34%	11,3	1	1		10148		
D2	0,001			0,1	34%	11,3	1	1		10148		
E1	0,0002			0,01	14%	9,5	1	1				
E2	0,0002			0,01	14%	9,5	1	1				
E3	0,0002			0,01	14%	9,5	1	1				
E4	0,0002			0,01	14%	9,5	1	1				
E5	0,0002			0,01	14%	9,5	1	1				
E6	0,0002			0,01	14%	9,5	1	1				
E7	0,0002			0,01	14%	9,5	1	1				
E8	0,0002			0,01	14%	9,5	1	1				

	λ <sub>ON</sub>	λ <sub>OFF</sub>	γ	μ	Capacité	Coût	Production	Moyenne / mission	Demande	Satisfaction / Demande	Moyenne Satisfaction
A	0,00002			0,005	114%	11,4	100%		90,00%	100%	100%
C1	0,0001			0,002	45%	11,2	100%		121,92%	78%	88,55%
C2	0,0001	0,00001	1%	0,002	45%	11,2	100%		121,92%	64%	88,28%
D1	0,001			0,1	34%	11,3	100%		90,00%	100%	100%
D2	0,001			0,1	34%	11,3	100%		90,00%	100%	100%
E1	0,0002			0,01	14%	9,5	100%		90,00%	100%	100%
E2	0,0002			0,01	14%	9,5	100%		90,00%	100%	100%
E3	0,0002			0,01	14%	9,5	100%		90,00%	100%	100%
E4	0,0002			0,01	14%	9,5	100%		90,00%	100%	100%
E5	0,0002			0,01	14%	9,5	100%		90,00%	100%	100%
E6	0,0002			0,01	14%	9,5	100%		90,00%	100%	100%
E7	0,0002			0,01	14%	9,5	100%		90,00%	100%	100%
E8	0,0002			0,01	14%	9,5	100%		90,00%	100%	100%

	MTBM	Min	Max
	2000	60%	130%

	Reparateurs c & d	Coût	Reparateurs E	Coût
	2	2	3	3

	Satisfaction	Coût total
	95,92%	49,96041017

Coût total < Objectif 50

Initialisation, Pas à pas, Simulation