



LES PRODUITS

GENCAB

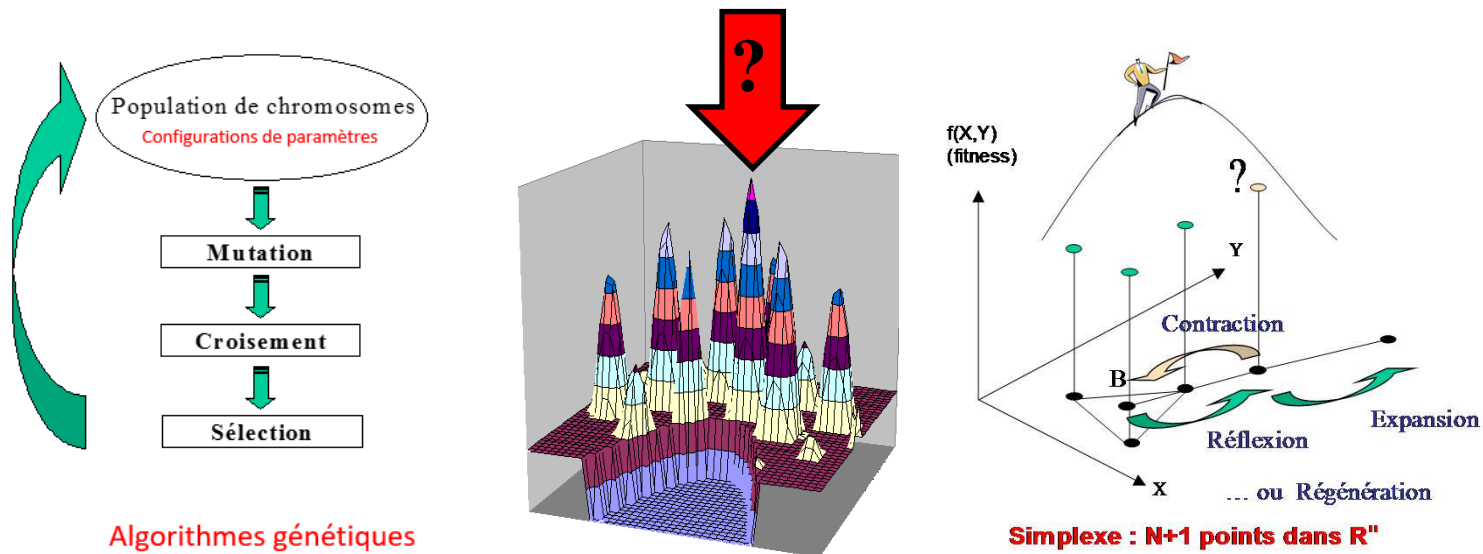
CAB INNOVATION

# Optimisation

# Outil générique d'optimisation globale

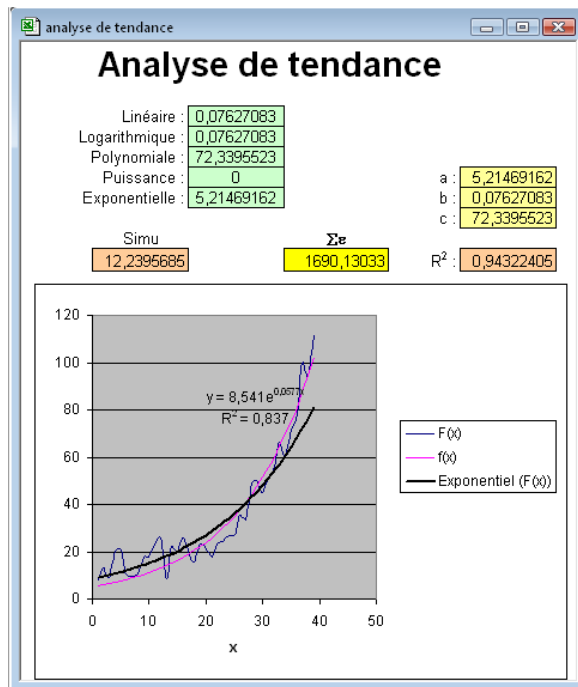
CAB INNOVATION

Recherche de la configuration de variables qui maximise ou minimise le résultat d'une fonction soumise à d'éventuelles contraintes

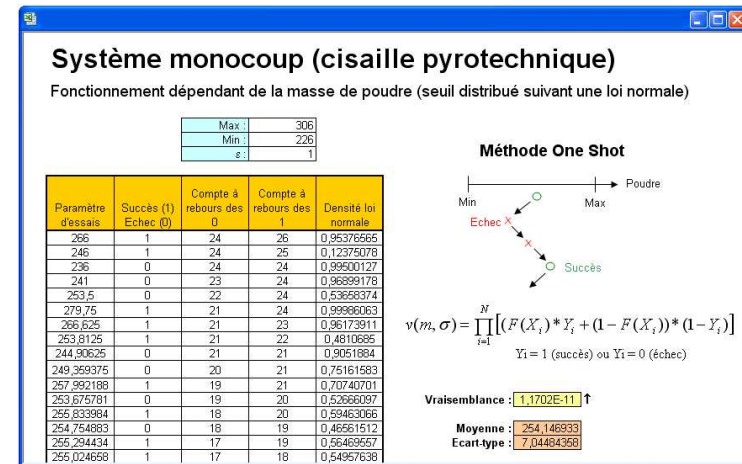


- ❑ *Hybridation d'une méthode globale (Algorithmes Génétiques) et locale (Simplexe ou algorithme de Nelder-Mead) rendant la recherche beaucoup plus efficace*
- ❑ *Bien adaptées aux problématiques industrielles de type boîte noire (seul le résultat de la fonction est accessible)*

Calculs

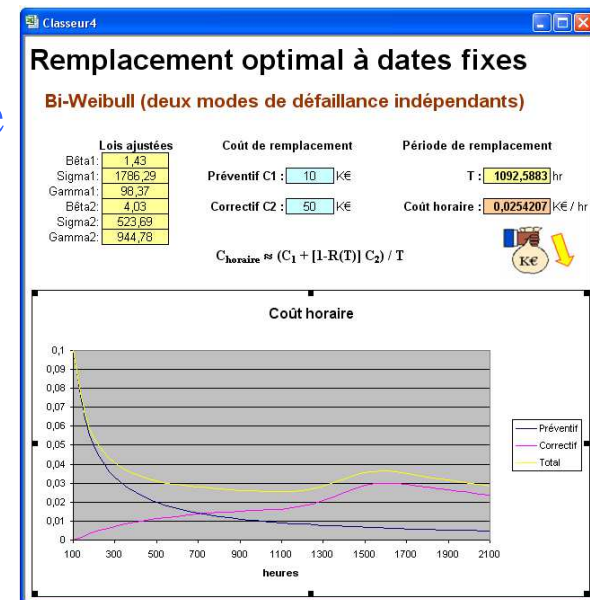
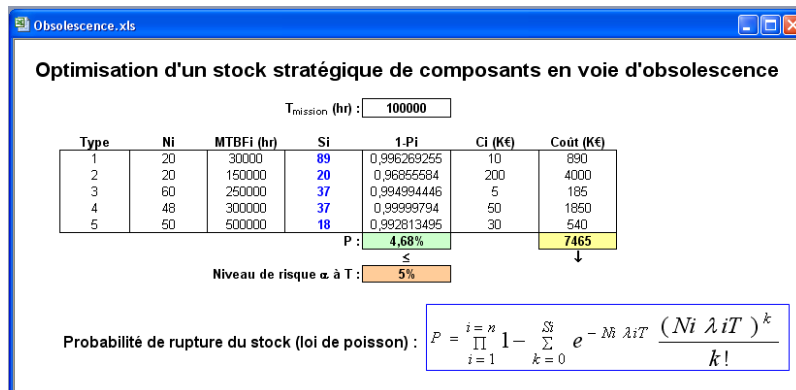


Gestion des essais



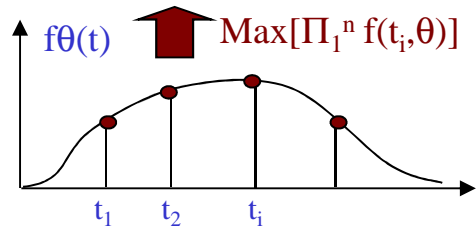
Maintenance

Gestion des stocks

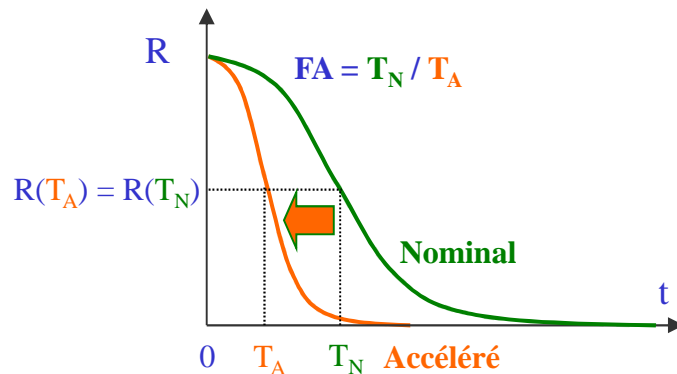


## Ajustement de modèles probabilistes

CAB INNOVATION



$$\lambda(t) = \lambda_0(t) \exp(\sum \beta_i X_i)$$



### REX hétérogène en température et vibration

Simulation				Estimation			
$\beta_i$	$\sigma_i$	$Ea_i$	$p_i$	$\beta$	$\sigma$	$Ea$	$p$
2,5	2000	0,5	3	2,31599	2383,85	0,5147	2,96299
60,3239	8,24795	3,28995	Non				

Ln vraisemblance : -65,305

Ref.	T°C	Grms	X	Censure	Fa	L(X)	ln(L(X))
1	70,3981	5,88265	4,25854	Non	346,027	0,12856	-2,0514
2	4,96004	8,78794	60,0307	Non	18,9312	0,0058	-5,1506
3	80,3759	4,57999	11,5643	Non	269,343	0,05805	-2,8465
4	24,0948	8,71919	21,062	Non	73,8153	0,02818	-3,5692
5	42,5115	5,38014	36,3345	Non	57,086	0,02238	-3,7997
6	53,1479	2,71345	74,2298	Non	13,9267	0,0039	-5,5468
7	31,3952	1,5724	1058,84	Oui	0,74706	1	0
8	57,2994	3,5518	17,4336	Non	38,9289	0,00686	-4,9827
9	44,5894	5,065	39,8164	Non	54,032	0,02085	-3,8706
10	18,1562	0,72789	65164,9	Oui	0,03124	1	0
11	66,5524	2,18898	139,412	Non	15,1862	0,0059	-5,1321
12	66,3489	6,21584	7,87697	Non	331,028	0,10569	-2,2472
13	71,4843	9,86982	1,39462	Non	1693,63	0,61079	-0,493
14	27,9859	0,15558	2898522	Oui	0,00063	1	0
15	55,5848	7,32724	2,38715	Non	302,777	0,05743	-2,8572
16	6,49049	8,96617	176,645	Non	22,6005	0,00159	-6,4411
17	70,9282	6,43607	4,49377	Non	463,928	0,18151	-1,7064
18	91,1274	4,16499	9,2969	Non	334,837	0,07229	-2,6271
19	55,7987	3,28415	138,789	Non	28,419	0,00216	-6,1367
20	22,4313	4,16993	221,017	Non	7,40966	0,00289	-5,8471

Taux de confiance : 90%

	Min	Max
$\beta$	2,31599	2,48379
$\sigma$	2383,85	2731,04
$Ea$	0,5147	0,52931
$p$	2,96299	3,07519

Matrice de Fisher :

5,76028	-0,0031	13,564	7,06856
-0,0031	1,6E-05	-0,1158	-0,0369
13,564	-0,1158	1822,75	195,508
7,06856	-0,0369	195,508	101,452

Variance-covariance :

0,19772	81,7328	0,00253	0,0111
81,7328	846504	26,1181	252,07
0,00253	26,1181	0,0015	0,00644
0,0111	252,07	0,00644	0,08841

- ❑ Maximum de vraisemblance (optimum global)
- ❑ Données censurées (à droite, à gauche ou par intervalle)
- ❑ Données hétérogènes (conditions d'environnement et d'utilisation)
  - Facteurs d'accélération (Arrhenius, Basquin, Eyring, Norris Landzberg, Peck...)
  - Modèle de COX
- ❑ Intervalle de confiance asymptotique des paramètres et quantiles (méthodes Wald / Delta)

**Plan d'expériences - Modèle linéaire :  $Y = X P + \epsilon$**

Modalités :

	2	4	
min :	1	-10	1
max :	2	10	4

Planification      Exploitation

Taux de confiance : 60%

Bruit (sigma) : 0,1

Déterminant (Fisher) : 7E-04

Y	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>			
1	6,684	1	2	7,025	3	4	49,35
2	3,908	1	2	-7,23	4	4	52,31
3	0,89	1	2	9,592	4	4	92
4	1,698	1	2	2,165	2	4	4,686
5	8,996	1	1	9,373	1	1	87,85
6	5,993	1	1	-0,05	4	1	0,002
7	3,669	1	2	-7,96	1	4	63,4
8	9,185	1	1	8,684	2	1	75,41
9	4,944	1	2	2,549	1	4	6,499
10	0,245	1	2	-9,18	3	4	84,2

P	min	max
9,533	-2E+05	2E+05
2,608	-3E+05	3E+05
0,093	0,092	0,094
-0,7	-0,743	-0,655
-1,66	-1E+05	1E+05
-0	-0,005	-0,004
0,012	0,003	0,021

x					
1	1	10	1	1	100

y	Var(y)	min	max
10,29	0,008	10,27	10,32

Y max

*Modèles linéaires et non linéaires*

*Planification optimale*

➤ *Méthode D-optimale : variance minimale des estimateurs*

➤ *Maximisation des distances minimales : courbes de réponse robustes*

*Exploitation des essais réalisés*

➤ *Moindres carrés / Maximum de vraisemblance*

➤ *Intervalles de confiance asymptotiques*



Essais tronqués - Weibull accélérée en température et en fatigue

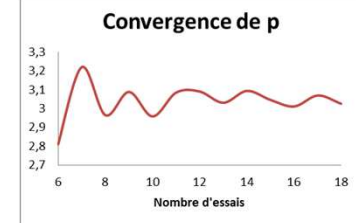
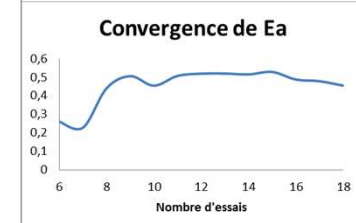
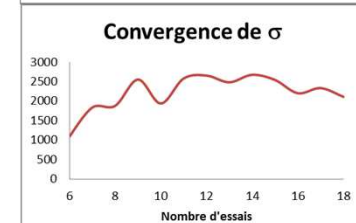
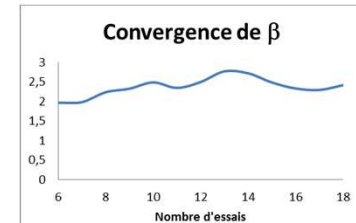
$\beta_i$	$\sigma_i$	$Ea_i$	$p_i$
2,5	2000	0,5	3
25	10	2,74681	Simulation

$\beta$	$\sigma$	$Ea$	$p$	T°C	C	Fa	P(X<T)	E(X/X<T)	I00	I01	I11	I02	I12	I22	I03	I13	I23	I33
2,41712	2111,43	0,45489	3,02489	25	10	130,11	1	3,808646015	0,2344	0,0005	-5E-07	0	0	0	-1,731	-1E-04	0	0,4554

Estimation

Réf T°C	Réf. C	T <sub>essai</sub>	Ln vraisemblance :	Déterminant de la matrice de Fisher :	last $\beta$	last $\sigma$	Last Ea	Last p
25	2	500	-63,59	0,1293	2,4171	2111,4	0,4549	3,0249

	T°C	C Grms	X	Fa	L(X)	Ln(L(X))	Last Fa	I00	I01	I11	I02	I12	I22	I03	I13	I23	I33	$\beta$	$\sigma$	Ea	p
1	9,45476	7,98632	9,88776	24,86	0,0013436	-6,612	24,86	0,1967	0,0005	-5E-07	2,192994289	3E-05	0,1483	-1,417	-2E-05	-0,096	0,0619				
2	34,486	9,32865	12,9886	182,12	0,0656831	-2,723	182,12	0,3849	0,0002	1,4E-06	3,006925021	-0,004	11,246	-0,373	-0,006	14,129	18,296				
3	57,5187	9,94985	1,84334	732,211	0,316747	-1,15	732,21	0,6239	0,0007	1,5E-06	-0,930539542	-0,008	40,326	-2,022	-0,007	26,307	23,395				
4	40,0251	8,89978	14,3838	214,027	0,0347348	-3,36	214,03	1,1488	-0,001	5,5E-06	6,089590368	-0,021	91,115	3,5845	-0,017	66,87	55,791				
5	33,6824	5,39656	69,8248	33,2506	0,0123775	-4,392	33,251	1,3313	-0,001	7,3E-06	6,692245377	-0,025	100,05	4,127	-0,021	74,913	63,032				
6	55,9552	4,57498	25,2089	64,7123	0,0300706	-3,504	64,712	1,5382	-0,001	7,8E-06	3,767134551	-0,03	142,11	3,4666	-0,022	84,409	65,176	1,9678	1095,5	0,2605	2,8101
7	45,9937	2	611,697	3,20865	0,5975941	-0,515	3,2087	1,577	-0,001	8,7E-06	4,210630188	-0,034	161,86	3,4666	-0,022	84,409	65,176	1,9821	1837,1	0,2276	3,2193
8	72,5459	2	125,301	11,4442	0,0051135	-5,276	11,444	1,8069	-6E-04	8,9E-06	-1,011539478	-0,04	227,71	3,4666	-0,022	84,409	65,176	2,2325	1880,3	0,4402	2,9646
9	25	2,89203	506,922	3,05146	0,6338267	-0,456	3,0515	1,8551	-7E-04	9,7E-06	-1,011539478	-0,04	227,71	3,5027	-0,023	84,409	65,539	2,3263	2554,9	0,5059	3,0879
10	25	3,13212	384,952	3,88394	0,0017661	-6,339	3,8839	2,078	-2E-04	1E-05	-1,011539478	-0,04	227,71	3,0864	-0,023	84,409	66,049	2,4876	1941,4	0,4544	2,958
11	25	2,97648	704,639	3,32902	0,569627	-0,563	3,329	2,1098	-3E-04	1,1E-05	-1,011539478	-0,04	227,71	3,1815	-0,024	84,409	66,569	2,3471	2581	0,5075	3,0844
12	25	3,14373	600,404	3,92767	0,4320043	-0,839	3,9277	2,1142	-7E-04	1,3E-05	-1,011539478	-0,04	227,71	3,4946	-0,025	84,409	67,572	2,4973	2657,5	0,5192	3,0901
13	50,1925	2	487,55	3,97826	0,0017883	-6,326	3,9783	2,2912	-5E-04	1,4E-05	-2,081895882	-0,046	271,56	3,4946	-0,025	84,409	67,572	2,7703	2484,5	0,5199	3,0305
14	48,4074	2	628,6	3,63325	0,4989547	-0,695	3,6333	2,3069	-7E-04	1,5E-05	-0,826849693	-0,052	304,23	3,4946	-0,025	84,409	67,572	2,7207	2676,1	0,5153	3,0934
15	50,0637	2	172,587	3,95244	0,0008549	-7,065	3,9524	2,5613	-2E-04	1,4E-05	-4,188811811	-0,052	307,7	3,4946	-0,025	84,409	67,572	2,4855	2545	0,5286	3,0455
16	25	3,22221	200,678	4,23182	0,001193	-6,731	4,2318	2,8242	0,0003	1,4E-05	-4,188811811	-0,052	307,7	2,9543	-0,025	84,409	67,719	2,3326	2203,5	0,4877	3,0108
17	48,5167	2	705,784	3,65359	0,4942661	-0,705	3,6536	2,839	0,0001	1,5E-05	-2,884145676	-0,058	341,11	2,9543	-0,025	84,409	67,719	2,2943	2336,4	0,4787	3,069
18	25	3,11779	402,49	3,83046	0,0017593	-6,343	3,8305	3,0564	0,0005	1,6E-05	-2,884145676	-0,058	341,11	2,5601	-0,025	84,409	68,257	2,4171	2111,4	0,4549	3,0249



- Méthode D-optimale : variance minimale des estimateurs
- Plus de précision ou moins d'essais (coût)



## Systemes mono-coup (pyrotechnie)

CAB INNOVATION

### Essais de systemes mono coup : D-optimalité / méthode Caboum

Simulation (Moyenne = 4 / Sigma = 1) : 0,995826

INIT Bayésien  
 Min : Moyenne : 1  
 Max : Sigma : 0,5  
 A/ OUI  
 Moyenne : Sigma : X m : 5,2748  
 3,166 s : 1,8711  
 Vraisemblance : 1,3218E-09 Déterminant : 32777

Simulation

Intervalles de confiance Taux de confiance : 60%

	Min	Max	
Moyenne :	4,945726	4,910084	4,981367
Sigma :	1,932789	1,897147	1,968843

Méthode de Wald

Ajout de tests

Matrice Fisher

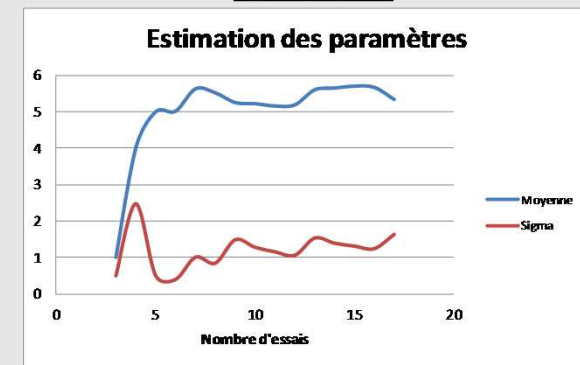
Matrice de Fisher		Variance covariance	
27,97464	-1,402687	0,035868	0,002413
-1,402687	20,8512	0,002413	0,048121

Quantile : 90%

	Min	Max	
Valeur :	7,422694	7,357208	7,48818
	7,341377	7,504011	Pire cas

Quadratique (méthode Delta)

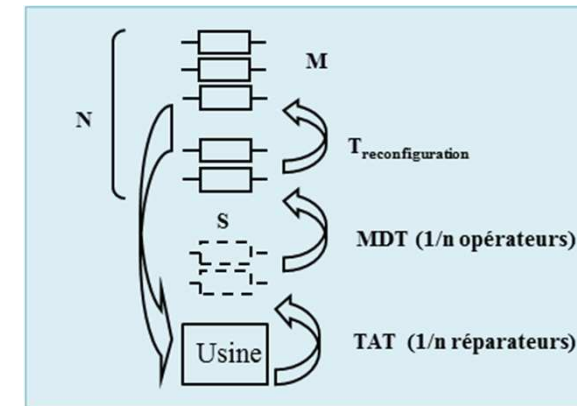
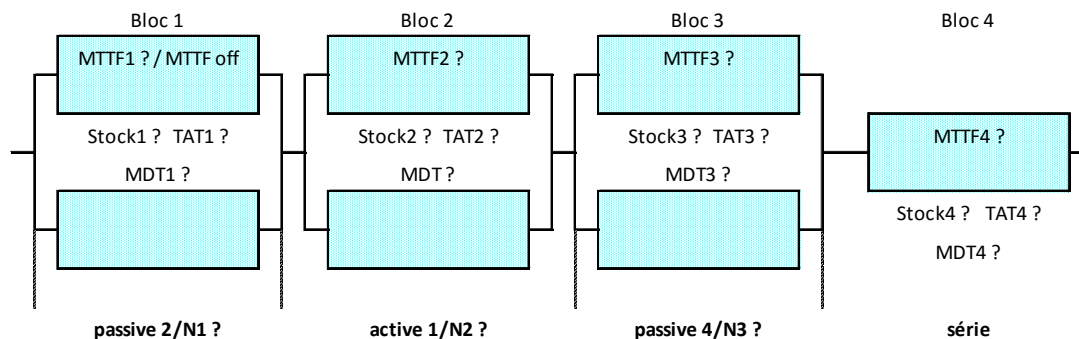
C	Valeur	Ecart-type	Résultat	Echec	Succès	Vraisemblance	xi	I00	I11	10=I01	Moyenne	Sigma	X	Xi	Ri
1	20,487	0,5	1		20,49	1	20,49	4E-15	3E-13	3E-14					
2	5,3236	0,5	0	5,324		0,48959077	5,324	0,364	2E-04	0,009					
3	5,3236	0,5	1		5,324	0,51040923	5,324	0,545	4E-04	0,014					
4	0,2201	2,4761	0	0,22		0,99654767	0,22	0,036	0,261	-0,1	4,0062	2,476	0,22		
4	7,2861	0,5	1		7,286	0,85878922	7,286	0,59	0,682	0,634	4,99549	0,5	7,286		
4	4,2083	0,4	0	4,208		0,71565161	4,208	0,969	0,315	-0,55	5,01248	0,4	4,208		
4	5,514	1,0118	0	5,514		0,4491395	5,514	1,265	0,021	0,162	5,62495	1,012	5,514		
4	6,919	0,8482	1		6,919	0,81022015	6,919	1,093	0,844	0,96	5,51611	0,848	6,919		
4	4,4811	1,4898	1		4,481	0,33572171	4,481	1,532	0,276	-0,65	5,24851	1,49	4,481		
4	3,1782	1,281	0	3,178		0,86874448	3,178	1,136	1,426	-1,27	5,21873	1,281	3,178		
4	6,8754	1,1592	1		6,875	0,80383904	6,875	1,526	1,116	1,305	5,15522	1,159	6,875		
4	3,7353	1,0639	0	3,735		0,79467515	3,735	1,699	1,15	-1,4	5,18513	1,064	3,735		
4	6,4155	1,5359	0	6,416		0,27105757	6,416	2,062	0,766	1,257	5,5988	1,536	6,416		
4	7,6532	1,3942	1		7,653	0,89814553	7,653	1,383	2,234	1,758	5,6461	1,394	7,653		
4	3,8919	1,3145	0	3,892		0,77007226	3,892	2,23	1,218	-1,65	5,66919	1,314	3,892		
4	7,3011	1,2464	1		7,301	0,86057991	7,301	1,876	2,2	2,032	5,66541	1,246	7,301		
4	4,2182	1,6376	1		4,218	0,28614341	4,218	2,75	0,877	-1,55	5,33311	1,638	4,218		
4	3,1794	1,5393	0	3,179		0,86860961	3,179	2,046	2,566	-2,29	5,31539	1,539	3,179		
4	7,2411	1,4718	1		7,241	0,85333865	7,241	2,287	2,526	2,404	5,27354	1,472	7,241		
4	3,4822	1,9328	1		3,482	0,16902752	3,482	2,585	2,373	-2,48	4,94573	1,933	3,482		
21															



- ❑ Méthode Caboum : D-optimalité + Technique bayésienne (a priori = essais virtuels)
- ❑ Plus de précision ou moins d'essais destructifs (coût)

## Couplage (Traitements Markoviens)

CAB INNOVATION



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	3836		passive 2/3	115079		50	102		2	502		0,9683	113160
Bloc 2	2936		active 1/3				408		3	525		0,9863	100664
Bloc 3	4479		passive 4/6				162		3	510		0,9883	150689
Bloc 4	6709		série				101		1	671		0,9755	83687
\$	ENSEMBLE											0,9207	448200
												≥	↓
												Objectif :	0,92

❑ *Trade off multi paramètres sous contrainte de Sûreté de Fonctionnement*



# Couplage (Simulation de Monte-Carlo)

CAB INNOVATION

### SIMULATEUR DE CONSTELLATIONS DE SATELLITES

**Initialisation**    **Pas à pas**    **Simulation**

	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>TTF</b>	<b>TJ</b>	<b>deltaT</b>
	0	4,7025		4,7075	0,005

**MISSION & STRATEGIE**

Délai pendant déploiement : 0,25  
 CU redondée : VRAI  
 Nb sat mission (besoin) : 6  
 Nb sat min (critère lancement) : 7  
 Durée renouvellement (ans) : 25  
 Nombre lanceurs max : 1000  
 Anticipation : VRAI

**PARAMETRES LANCEUR**

Choix du lanceur : Véga  
 Taux réussite : 0,98  
 Délai réservation : 0,25  
 Capacité : 8

**Liste**

- Soyouz
- Véga
- Véga
- Véga
- Véga
- Véga
- Véga
- Véga
- Véga
- Véga
- Véga
- Véga

Lanceur			
Nb lancements	1	1	
Nb satellites	15	15	
Déploiement	VRAI	FAUX	FAUX

Usure		T1	TJ
SAT 1	Usure	1,3837	1,3786
SAT 1	Défaillance	10,226	10,221
SAT 1	Satellite	1	1,3837
SAT 2	Usure		
SAT 2	Défaillance		
SAT 2	Satellite	0	0
SAT 3	Usure	0,5631	0,558
SAT 3	Défaillance	2,1038	2,0987
SAT 3	Satellite	1	0,5631
SAT 4	Usure	1,1771	1,172
SAT 4	Défaillance	9,0734	9,0683
SAT 4	Satellite	1	1,1771
SAT 5	Usure	0,5353	0,5302
SAT 5	Défaillance	1,297	1,2919
SAT 5	Satellite	1	0,5353
SAT 6	Usure	0,7137	0,7086
SAT 6	Défaillance	5,2687	5,2636
SAT 6	Satellite	1	0,7137
SAT 7	Usure		
SAT 7	Défaillance		
SAT 7	Satellite	0	0

Sat	Etat	Affectation	Durées
1	1	FAUX	1,38369
2	0	FAUX	
3	1	FAUX	0,56308
4	1	FAUX	1,17708
5	1	FAUX	0,53529
6	1	FAUX	0,71368
7	0	FAUX	
8	1	FAUX	0,12089
9	1	FAUX	0,62242
10	1	FAUX	0,2082
11	1	FAUX	0,0837
12	0	FAUX	
13	1	FAUX	0,79932
14	1	FAUX	0,00505
15	1	FAUX	0,52031
16	0	FAUX	
17	0	FAUX	
18	0	FAUX	
19	0	FAUX	
20	0	FAUX	
21	0	FAUX	
22	0	FAUX	
23	0	FAUX	
24	0	FAUX	
25	0	FAUX	
26	0	FAUX	
27	0	FAUX	
28	0	FAUX	
29	0	FAUX	

**DECISION LANCEMENT**

Nombre satellites ok : 12  
 Fin renouvellement : FAUX  
 Décision lancement : FAUX  
 Pendant déploiement :  
 Sans anticipation :  
 Anticipation :  
 Prochain lancement :

**Nombre de satellites opérationnels**

	moyenne	écart-type	Quantile 90%
Nb satellites consommés	51,56	4,66	56
Nb lanceurs consommés	6,45	0,58	7
Nb satellites ok (1 à 20 ans)	8,45	0,39	7,97597
Disponibilité nominal (1 à 20 ans)	0,98	0,01	0,97

❑ Temps de calcul non rédhibitoire avec couplage optimisé