



TP N° 85

Optimisation à partir de résultats de simulation

L'objet de ce TP est de montrer comment l'association de l'optimisation et de la simulation de Monte-Carlo permet de transformer des résultats d'évaluation en décisions optimisées.

Il reprend des exemples du logiciel Cab Designer et décrit sa fonction de réduction de la durée d'optimisation à partir de résultats de simulation ainsi que ses possibilités de couplage avec des logiciels de simulation externes.

Ce TP peut être fourni au format Word avec les fichiers Excel incrustés sur demande. Il existe aussi en langue anglaise.

1 – Optimisation sous contraintes déterministes

Traiter la problématique de choix entre divers projets d'une entreprise pour maximiser les gains attendus en tenant compte de contraintes déterministes de coût et de personnel.

2 – Optimisation sous contraintes aléatoires

Traiter cette même problématique en considérant des valeurs aléatoires de coût et de personnel pour chacun des projets.

3 – Réduction du temps de calcul

Décrire la fonction de réduction de la durée d'optimisation à partir de résultat de simulation utilisée par le logiciel Cab Designer et l'appliquer sur un exemple.

4 – Couplage avec des logiciels de simulation externe

Décrire la fonction de couplage avec des logiciels de simulation externe en l'illustrant d'un exemple.

1 – Optimisation sous contraintes déterministes

L'exemple suivant porte sur le choix entre 10 projets d'une entreprise avec l'objectif de maximiser les gains en tenant compte des contraintes de coût et de personnel.

Ressources			
	Gain	Personnel	Coût
Projet 1 :	22,72	2	2,22
Projet 2 :	26,78	3	2,75
Projet 3 :	54,71	2	2,86
Projet 4 :	12,72	1	4,91
Projet 5 :	15,78	3	0,75
Projet 6 :	19,47	3	2,17
Projet 7 :	20,10	4	0,46
Projet 8 :	13,75	2	2,33
Projet 9 :	20,19	3	4,27
Projet 10 :	8,28	1	2,74
Σ :	186,75	20	20,54

RESULT			
Criteria	199,807	Max	
Constraints	20	>=	20
	25	>=	20,54
Penalty Factor:	1,00E+09		
Objective	199,807		

DATA										
Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Type	Choix_1	Choix_2	Choix_3	Choix_4	Choix_5	Choix_6	Choix_7	Choix_8	Choix_9	Choix_10
Min / k	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary
Max / n										
Init / End	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0

Help										
Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Law	Gain_1	Gain_2	Gain_3	Gain_4	Gain_5	Gain_6	Gain_7	Gain_8	Gain_9	Gain_10
Parameter 1	Triangular	Normal	Lognormal	Uniform	Triangular	Normal	Lognormal	Uniform	Lognormal	Uniform
Parameter 2	30	15	4	12	30	15	3	12	3	8
Parameter 3	10	5	0,05	24	10	5	0,05	24	0,09	20
Parameter 4	40				40					
Value	22,72159	26,77927	54,71192	12,72178	15,77547	19,47312	20,10137	13,74794	20,19206	8,27927

RESULTS		
Name	1	2
Chart	Gain	Gain
Output	No	No
Parameter	Average	Standard deviation
Value	199,807	11,73038



Feuille de calcul
Microsoft Excel

Le gain attendu de chacun des projets est modélisé par diverses lois de probabilité (triangulaire uniforme, normale...).

En revanche, le nombre de personnel requis et le coût d'investissement de chacun des projets sont des valeurs fixes, dont la somme est ici limitée à 20 personnes et 25 unités de coût.

L'espérance de gain de l'ensemble des projets constitue le critère d'optimisation :

$$\text{Criteria} = \text{Gain_Average}$$

La fonction « Objectif » est calculée de la manière suivante :

$$\text{Objective} = \text{Gain} - \text{Penalty_factor} * (\text{MAX}(\text{Personnel} - 20 ; 0) + \text{MAX}(\text{Coût} - 25_{\text{max}} ; 0))$$

Un gain avec un certain niveau de confiance pourrait être également utilisé comme critère, comme dans l'exemple ci-dessous à 90 % de confiance :

$$\text{Criteria} = \text{Gain_Average} - 1,28 * \text{Gain_Standard_deviation}$$

La probabilité que le gain soit supérieur à une certaine valeur peut être également estimée. Cette probabilité est ici égale à 1 pour une valeur correspondant au coût d'investissement et de frais de personnel, en considérant 6 unités de coût par personne.

2 – Optimisation sous contraintes aléatoires

Le nombre de personnel requis et le coût d'investissement de chacun des projets sont maintenant des valeurs aléatoires également définies par des lois de probabilité.

Les contraintes peuvent être traitées comme précédemment en considérant les valeurs moyennes du nombre de personnel et de coût, avec un risque important de dépassement des valeurs de contrainte.

Ce risque peut être limité en considérant des valeurs de personnel et de coût à n sigma

$$\text{Personnel_Average} + n * \text{Personnel_Standard_deviation}$$

$$\text{Coût_Average} + n * \text{Coût_Standard_deviation}$$

Ainsi dans l'exemple suivant, le risque de dépassement est inférieur à 0,135 % avec n = 3.

Choix entre projets (contraintes aléatoires)

	Gain	Personnel	Coût	Choix
Projet 1 :	17,64	2,65	1,76	1
Projet 2 :	21,07	1,91	4,32	0
Projet 3 :	19,98	1,67	1,87	1
Projet 4 :	14,51	1,71	4,08	1
Projet 5 :	23,44	1,40	1,40	1
Projet 6 :	20,08	1,43	2,82	0
Projet 7 :	21,66	3,34	3,83	0
Projet 8 :	12,40	4,08	2,85	0
Projet 9 :	20,32	1,09	1,27	1
Projet 10 :	17,97	1,35	1,76	1
Σ :	113,85	9,87	12,14	

DATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Name	Choix_1	Choix_2	Choix_3	Choix_4	Choix_5	Choix_6	Choix_7	Choix_8	Choix_9	Choix_10
Type	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary
Min / k										
Max / n										
Init / End	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1

RESULT

Criteria: 129,6527 Max

Constraints:

15 >= 13,77667

20 >= 14,38042

Penalty Factor: 1,00E+09

Objective: 129,6527

Help

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Name	Gain_1	Gain_2	Gain_3	Gain_4	Gain_5	Gain_6	Gain_7	Gain_8	Gain_9	Gain_10	Personnel_1
Law	Triangular	Normal	Lognormal	Uniform	Triangular	Normal	Lognormal	Uniform	Lognormal	Uniform	Triangular
Parameter 1	30	15	3	12	30	15	3	12	3	12	1
Parameter 2	10	5	0,05	24	10	5	0,05	24	0,05	24	1
Parameter 3	40				40						5
Parameter 4											
Parameter 5											
Value	17,63759	21,06696	19,97601	14,50933	23,43937	20,07742	21,65979	12,40145	20,317	17,9727	2,64886458

RESULTS

	1	2	3	4	5	6
Name	Gain	Gain	Personnel	Personnel	Coût	Coût
Chart	No	No	No	No	No	No
Output	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
Parameter						
Value	129,6527	10,38228	10,40696	1,123238	11,05474	1,10856



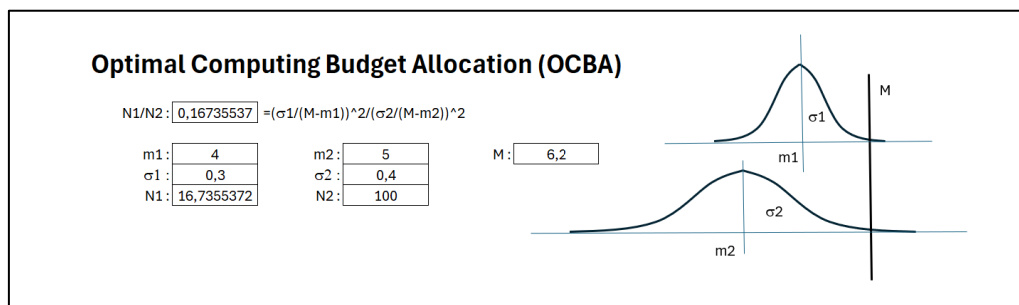
Feuille de calcul
Microsoft Excel

3 – Réduction du temps de calcul

Dans le cas d'une optimisation réalisée à partir de résultats de simulation de Monte-Carlo, le nombre de simulations est égal au nombre d'évaluations nécessaire pour assurer la convergence, multiplié par le nombre de simulations requis par la précision souhaitée, soit $5000 * 5000 = 25$ millions pour une application typique en valeur moyenne.

Afin de réduire significativement les temps de calcul, le logiciel Cab Designer propose une fonction de couplage amélioré consistant à évaluer préalablement les candidats à un faible nombre de simulations, puis de manière plus fine selon les résultats obtenus.

Cette fonction utilise le principe de l'OCBA¹, illustré ci-dessous, qui garantit une même probabilité résiduelle de rejet inopportun à chacun des candidats, en déterminant le rapport des nombres de simulations à effectuer pour deux d'entre eux, en fonction des résultats de leur évaluation grossière et de l'optimum courant.

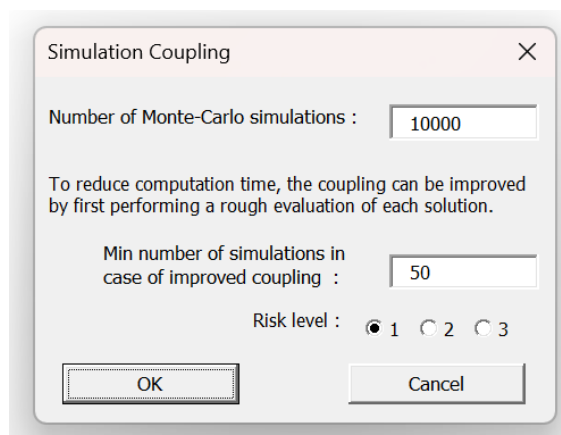


¹ Chen, Chun-Hung; Lee, Loo H. Stochastic Simulation Optimization: An Optimal Computing Budget Allocation (2011).

Par ailleurs le nombre de simulations effectuées à chaque boucle d'optimisation des algorithmes génétiques augmente progressivement, au fur et à mesure de l'amélioration globale de performance de la population de chromosomes.

Le nombre de simulations à réaliser par évaluation est demandé à l'utilisateur en début de traitement.

S'il désire utiliser la fonction de couplage amélioré pour une optimisation en valeur moyenne, il peut saisir un nombre minimum de simulations pour les évaluations grossières ainsi qu'un niveau de risque de rejet inopportun des candidats.



Simulation Coupling

Number of Monte-Carlo simulations : 10000

To reduce computation time, the coupling can be improved by first performing a rough evaluation of each solution.

Min number of simulations in case of improved coupling : 50

Risk level : ☒ 1 ☐ 2 ☐ 3

OK Cancel

L'exemple précédent est repris ci-après.

Choix entre projets (contraintes aléatoires)

	Gain	Personnel	Coût	Choix
Projet 1 :	20,98	2,11	1,61	1
Projet 2 :	13,77	1,85	3,11	0
Projet 3 :	19,19	1,75	1,45	1
Projet 4 :	12,52	1,90	4,47	1
Projet 5 :	27,72	1,10	1,31	1
Projet 6 :	17,81	1,69	2,09	1
Projet 7 :	20,39	1,85	3,93	0
Projet 8 :	15,54	4,23	2,40	0
Projet 9 :	20,79	1,29	1,90	1
Projet 10 :	22,17	1,11	1,14	1
Σ :	141,19	10,94	13,98	

RESULT

Criteria: 141,1873 Max

Constraints: 15 >= 10,94055

20 >= 13,98283

Penalty Factor: 1,00E+15

Objective: 141,1873

DATA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Name	Choix_1	Choix_2	Choix_3	Choix_4	Choix_5	Choix_6	Choix_7	Choix_8	Choix_9	Choix_10
Type	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary
Min / k										
Max / n										
Init / End	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1

Help	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Name	Gain_1	Gain_2	Gain_3	Gain_4	Gain_5	Gain_6	Gain_7	Gain_8	Gain_9	Gain_10	Personnel_1
Law	Triangular	Normal	Lognormal	Uniform	Triangular	Normal	Lognormal	Uniform	Lognormal	Uniform	Triangular
Parameter 1	30	15	3	12	30	15	3	12	3	12	1
Parameter 2	10	5	0,05	24	10	5	0,05	24	0,05	24	1
Parameter 3	40				40						5
Parameter 4											
Parameter 5											
Value	20,98251	13,76648	19,19322	12,52308	27,71535	17,81427	20,39462	15,54075	20,78878	22,1701	2,11318891

Result_value : -8,7E+11

Result_standard_deviation : 1,53E+13

RESULTS	1	2	3
Name	Gain	Personnel	Coût
Chart	No	No	No
Average	>	>	>
Parameter	15	20	20
Value	144,5285	0,003	0



Feuille de calcul
Microsoft Excel

Lors de chacune des évaluations, les résultats de simulation ne sont plus calculés à l'exception de la valeur moyenne (Result_value) et de l'écart-type (Result_standard_deviation) de la fonction « objective » qui est calculée à partir des valeurs de gain, de personnel et de coût à chaque simulation.

On observe ici que certaines des simulations de la configuration retenue ne satisfont pas les contraintes puisque que la moyenne du résultat est négative.

La probabilité de dépassement des contraintes peut être alors obtenue par une simulation complémentaire sans optimisation (0,3 % pour le personnel et 0 % pour le coût).

La durée de 50 boucles d'optimisation a été divisée par 8,95 dans cet exemple, soit 7 minutes au lieu d'une heure et 3 minutes, pour 2000 simulations par évaluation fine et 50 par évaluation grossière (1794 évaluations de 223,51 simulations par évaluation en moyenne).

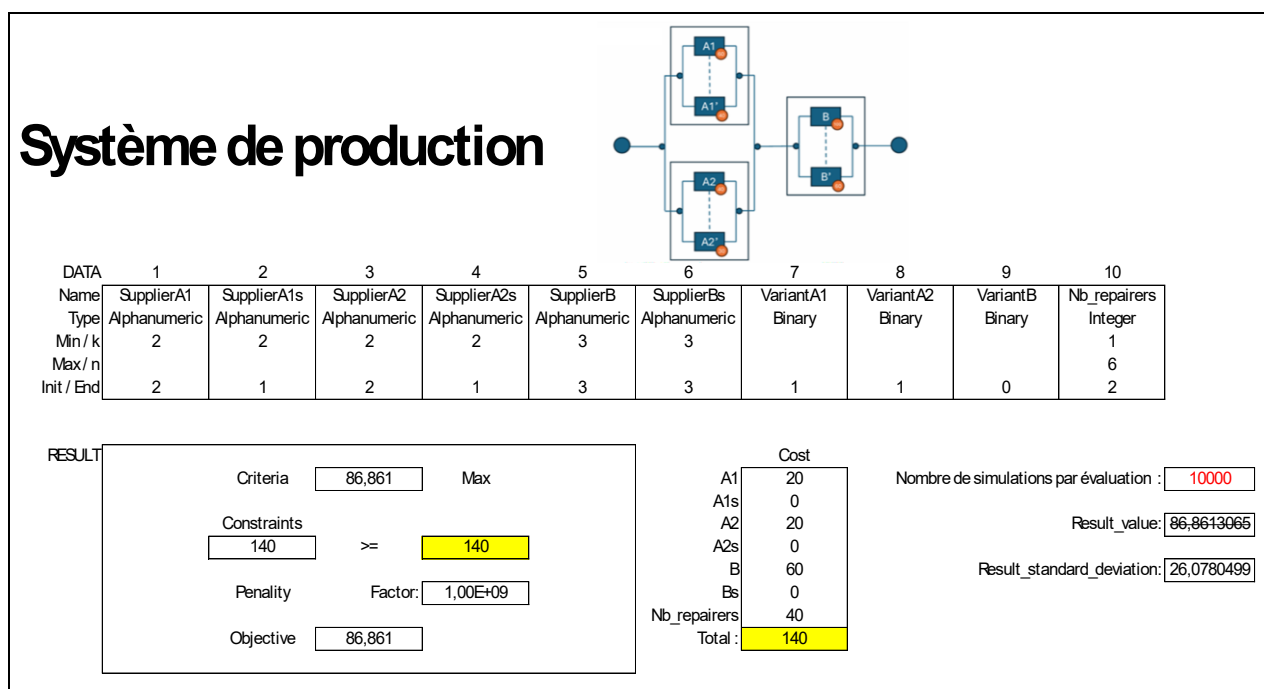
Cette réduction du temps de calcul est d'autant plus forte que le nombre de simulations par évaluation est élevé.

3 – Couplage avec un logiciel de simulation

Cab Designer peut se coupler à des logiciels externes, fonctionnant sous Windows, pour réaliser des optimisations ou des évaluations d'incertitude.

Il peut notamment être utilisé avec le logiciel GRIF-MOCA RP (de Total) qui permet de modéliser et de simuler des systèmes divers par des réseaux de Pétri stochastiques.

L'exemple, ci-dessous, porte sur un système de production.



Feuille de calcul
Microsoft Excel

Ce système est constitué de 3 sous-systèmes (A1 et A2 en redondance en série avec B) composés chacun d'une unité de production principale à laquelle peut être ajoutée une unité secondaire de moindre capacité.

L'optimisation cherche à maximiser la disponibilité du système sous une contrainte déterministe de coût, en jouant sur :

- 6 variables alphanumériques correspondent au choix des fournisseurs des différentes unités, avec un taux de défaillance et un coût d'acquisition spécifiques,
- 3 variables binaires portent sur l'ajout éventuel d'une unité secondaire,
- 1 variable entière correspond au nombre de réparateurs.

L'interface avec GRIF est réalisée au moyen des six premières colonnes de la feuille de calcul :

	A	B	C	D	E	F
1	Calculation	Write	Write	LaunchWait	Read	Calculation
2	All	C:\Users\andre\Documents\CABINNOV\CLIENTS\Total\GRIF\grif-2024-CABINNOVATION-x64\GRIF2024.17\Travaux\CasTest1\ChangeParams.csv	C:\Users\andre\Documents\CABINNOV\CLIENTS\Total\GRIF\grif-2024-CABINNOVATION-x64\GRIF2024.17\Travaux\CasTest1\ChangeParams.Launch.bat	C:\Users\andre\Documents\CABINNOV\CLIENTS\Total\GRIF\grif-2024-CABINNOVATION-x64\GRIF2024.17\Travaux\CasTest1\ChangeParams.Launch.bat	C:\Users\andre\Documents\CABINNOV\CLIENTS\Total\GRIF\grif-2024-CABINNOVATION-x64\GRIF2024.17\Travaux\CasTest1\ChangeParams.Result.xml	All
3		id;name;value;description;dimension;unit	set PATH=%~dp0\..\Bin\Lib;%PATH%		<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>	
4		1:LambdaB;5.0E-5;;Other;	set WORKDIR=%~dp0		<moca version="14.24.2" grif-version="16.17.0.0" date="1762944329178" endDate="1762944329373">	
5		2:LambdaBs;5.0E-5;;Other;	cd /D %~dp0\..\Bin\Petri12			
6		3:NbrRepairerInit;2;;Other;	set JVMOPTIONS=-ms128m -mx4G -Xmixed -Djava.library.path=".		<options>	
7		4:WithBs;0;;Other;	..Java\bin\java %JVMOPTIONS% -jar Petri12.jar %WORKDIR%\Ca		<option name="Net-Name" value="CasTest1.jpp"/>	
8		5:LambdaA1;2.0E-4;;Other;			<option name="Histo-Done" value="1000"/>	
9		6:LambdaA2;5.0E-4;;Other;			<option name="Seed-Begin" value="12345681"/>	
10		7:WithA1s;1;;Other;			<option name="Seed-Current" value="74805013124377"/>	
11		8:LambdaA2;2.0E-4;;Other;			<option name="Histo-Delay" value="17520.00"/>	
12		9:LambdaA2s;5.0E-4;;Other;			</options>	
13		10:WithA2s;1;;Other;			<states type="1">	
14					</states>	

- la première lance un calcul général du classeur pour mettre à jour les données du fichier d'entrée, conformément à la configuration des variables de décision,
- la seconde envoie à GRIF le fichier ainsi modifié,
- la troisième fournit le nombre de simulations à réaliser,
- la quatrième lance les simulations par GRIF et attend les résultats,
- la cinquième reçoit le fichier de résultats,
- la sixième lance à nouveau un calcul du classeur pour récupérer la donnée de disponibilité (valeurs nommée « value » et « sd » dans le fichier de résultats).

La fonction de couplage amélioré est utilisée ici : le nombre de simulations à réaliser par évaluation est envoyé à GRIF qui renvoie, en retour, la valeur moyenne et l'écart type de la disponibilité.

La fonction « Objectif » est alors calculée sur la feuille pour donner les résultats utilisés par l'algorithme d'optimisation (Result_value et Result_standard_deviation).

Ce calcul ne serait pas possible dans le cas de contraintes aléatoires et devrait être directement réalisé par l'outil de simulation.