

SIMCAB : UN OUTIL GÉNÉRIQUE DE SIMULATION SOUS MICROSOFT EXCEL®

André CABARBAYE *

CAB INNOVATION

3 rue de la coquille

31500 Toulouse

Tél./Fax. 05 61 54 68 08

Andre.cabarbaye@cabinnovation.fr

Site Web : cabinnovation.fr

* Gérant de CAB INNOVATION, Ingénieur au Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), et Président de l'Institut de Sécurité de Fonctionnement Midi-Pyrénées.

RESUME : Cet article présente un nouvel outil de simulation dont l'originalité réside principalement dans sa facilité de mise en œuvre, pour permettre à un grand nombre d'utilisateurs de traiter des problèmes variés, et dans sa capacité de couplage avec des outils d'évaluation et d'optimisation existants.

Basé sur la simulation de Monte-Carlo, il permet d'enrichir le tableur Excel de variables aléatoires afin de maîtriser les dispersions dans les calculs ou simuler efficacement des problématiques éventuellement complexes.

Il comprend une fonction d'ajustement de lois de probabilité diverses, discrètes ou continues, à partir de données expérimentales, ainsi qu'une fonction de traitement statistique des résultats et d'analyse de corrélation.

Il peut se coupler au logiciel de Sécurité de Fonctionnement **SUPERCAB+** pour évaluer les dispersions dans des calculs de fiabilité/disponibilité, des traitements Markoviens, ou des traitements d'Arbre de Fautes, en fonction de variables d'entrées modélisées par différentes lois de probabilité. Il peut également se coupler à l'outil d'optimisation **GENCAB**, basé sur les Algorithmes Génétiques et le Simplexe non linéaire, afin de réaliser des optimisations à partir de résultats de simulation (valeurs moyennes des résultats ou combinaison avec les écarts-type).

Cet outil n'est pas présenté en détail dans cet article, mais ses capacités sont illustrées au travers de différents exemples d'application.

MOTS-CLES : Simulation - Modélisation - Optimisation - Sécurité de Fonctionnement - Algorithmes génétiques -

1. INTRODUCTION

La simulation recouvre aujourd'hui des enjeux considérables dans tous les domaines d'ingénierie (technique, commerciale, financière...) car elle constitue une aide indispensable à la décision et à la maîtrise des incertitudes.

La puissance des ordinateurs aujourd'hui disponibles permet de mettre à la disposition de tous la technique de simulation de type Monte-Carlo qui est basée sur la succession d'un grand nombre de tirages aléatoires.

Cette méthode est aujourd'hui bien connue même si elle fait encore l'objet de recherches principalement dans trois domaines :

- . la qualité des générateurs aléatoires utilisés [1],
- . les techniques de réduction de variance pour traiter les événements rares [2],
- . les techniques de modélisation comportementale (réseau de Petri stochastique...etc.) qui tentent d'aider à mieux formaliser certains problèmes avant de les traiter par cette méthode.

Mais son utilisation nécessite bien souvent le développement de logiciels complexes, spécifiques à chacun des problèmes rencontrés. Aussi est-elle généralement limi-

tée à quelques grandes entreprises et laboratoires de recherche.

C'est pourquoi, **CAB INNOVATION** propose une réponse particulièrement simple et efficace à toute une gamme de problématiques, en offrant une puissante capacité de simulation au tableur de bureautique le plus largement diffusé.

2. PRINCIPE

SIMCAB est un outil générique de simulation de Monte-Carlo qui permet d'enrichir le tableur de variables aléatoires afin de permettre à chaque utilisateur de maîtriser les dispersions dans les calculs ou de simuler efficacement des problèmes variés (figure 1).

Au moyen d'un menu proposé par l'outil, l'utilisateur définit les noms et caractéristiques des variables aléatoires utilisées dans son calcul et nomme les cellules de la feuille qui contiennent des résultats.

Il peut alors lancer la simulation puis visualiser les résultats sous forme de graphiques (graphe de fréquence, graphe de probabilité, fonction de répartition...) et effec-

tuer sur eux divers traitements statistiques (moyenne, médiane, écart-type, kurtosis, asymétrie, probabilité entre bornes, intervalle de confiance, corrélation...).

De nombreuses lois de probabilité sont proposées par l'outil (Binomiale, Erlang, Exponentielle, Gamma, Géométrique, Hypergéométrique, Lognormale, Normale, Personnalisée, Poisson, Triangulaire, Uniforme, Weibull...) qui peuvent être ajustées par l'outil à partir de données expérimentales ; l'ajustement étant réalisé par la méthode du maximum de vraisemblance.

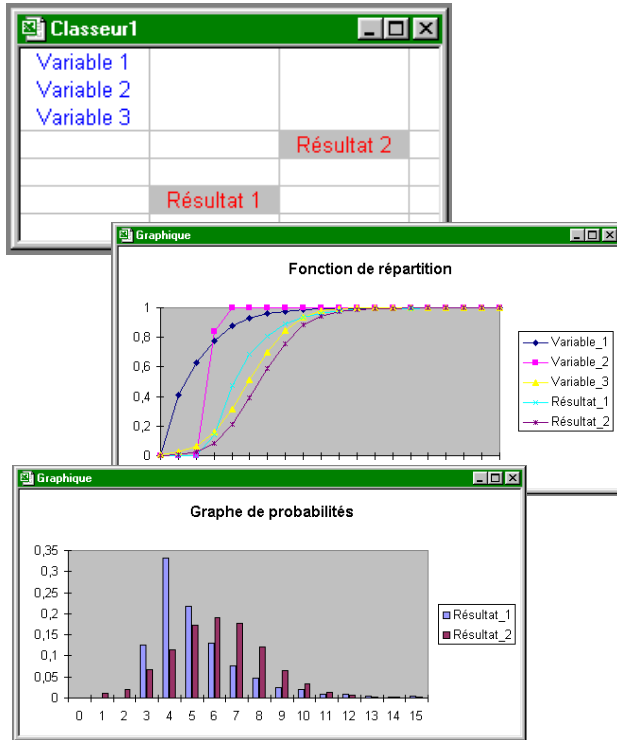


Figure 1. Principe de l'outil

Cette simplicité conceptuelle permet non seulement à tout utilisateur de maîtriser les incertitudes sur des calculs divers, mais aussi de traiter efficacement des problématiques relativement complexes, comme le montrent les exemples suivants.

3. EXEMPLES D'APPLICATIONS

3.1 Maîtrise des incertitudes

Les exemples des figures 1, 2 et 3 montrent sur des cas simples comment des problématiques de dimensionnement peuvent être résolues par l'outil dans des domaines très différents telles que la mécanique, l'électronique ou la mécanique. L'exemple de la figure 2 montre immédiatement l'intérêt, même pour des calculs très simples, d'obtenir des résultats sous forme de distribution et non pas d'évaluations ponctuelles.

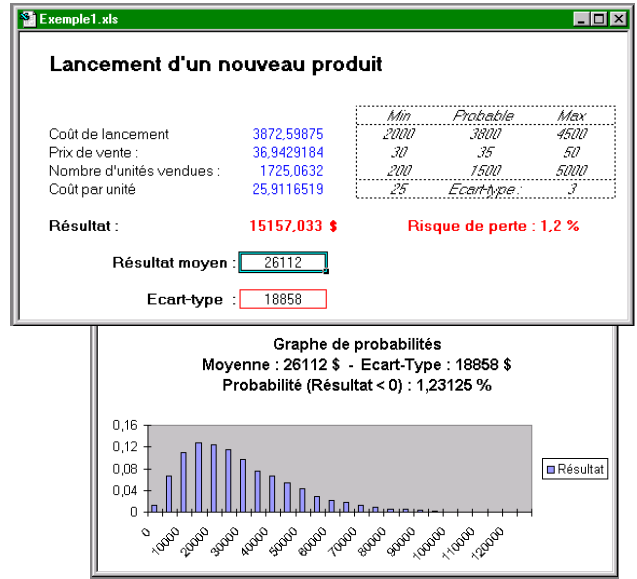


Figure 2. Quel résultat peut-on attendre d'un nouveau produit ?

L'exemple de la figure 3 illustre une problématique très classique en conception, à savoir comment s'assurer que celle-ci sera robuste aux pires cas de fonctionnement nominaux (prise en compte des dérives de composants, des variations d'alimentations, du vieillissement, des doses de radiation reçues...etc.).

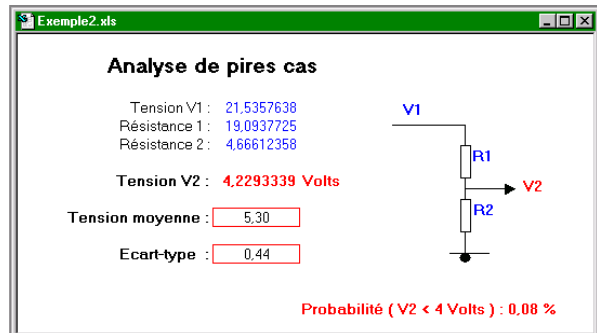


Figure 3. Comment valider la robustesse d'une conception dans les pires cas de fonctionnement ?

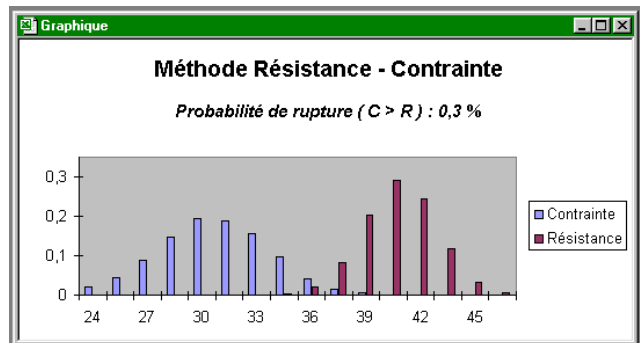


Figure 4. Comment dimensionner correctement une marge de sécurité ?

L'exemple de la figure 4 montre enfin combien, en mécanique, un dimensionnement prenant en compte les dispersions de résistance de matériaux et de contrainte subie offre une bien meilleure garantie que s'il n'est basé sur l'utilisation d'un simple coefficient de sécurité (rapport entre la résistance moyenne et la contrainte moyenne).

3.2 Simulation

Outre l'évaluation des dispersions dans les calculs ayant pour objet la maîtrise des incertitudes, la simulation peut également permettre d'appréhender des résultats difficiles, voir impossibles à obtenir par des calculs analytiques. Les exemples des figures 5 et 6 montrent ainsi des simulations réalisées dans le domaine de la Sûreté de Fonctionnement.

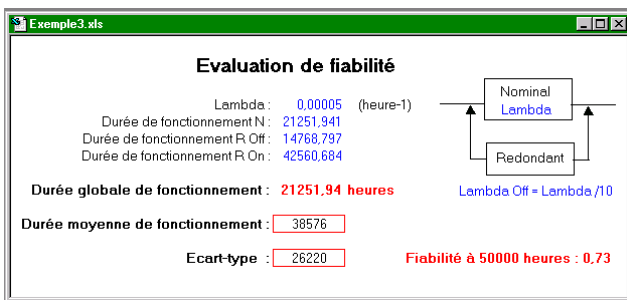


Figure 5. fiabilité d'une redondance froide

L'exemple de la figure 5 montre comment la fiabilité d'équipements en redondance peut être évaluée simplement en simulant des durées de bon fonctionnement.

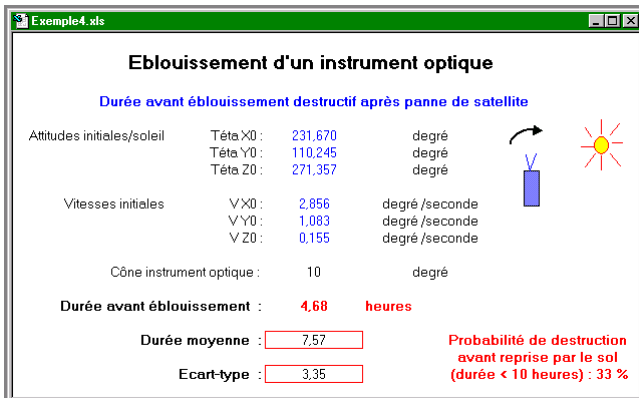


Figure 6. Quelle est l'impact d'une durée d'intervention après panne ?

L'exemple de la figure 6 ne peut être traité que par simulation. Il cherche à évaluer l'impact d'un délai d'intervention après panne sur la probabilité de destruction d'un équipement (risque d'éblouissement solaire destructif d'un instrument optique monté sur un satellite qui n'est plus contrôlé momentanément).

4. COUPLAGE AVEC LES AUTRES OUTILS DE CAB INNOVATION

SIMCAB peut se coupler aux autres outils de **CAB INNOVATION**, soit pour maîtriser des dispersions dans des évaluations effectuées par le logiciel de Sûreté de Fonctionnement **SUPERCAB+**, soit pour réaliser des optimisations au moyen de l'outil **GENCAB** à partir de résultats de simulation.

4.1 Couplage avec le logiciel SUPERCAB +

SUPERCAB + constitue un atelier de Sûreté de Fonctionnement qui comprend différents outils (Supercab, Failcab et Cabtree). Ceux-ci proposent notamment comme fonctionnalités :

- . l'évaluation de fiabilité/disponibilité d'architecture de systèmes et le dessin automatique de Bloc Diagramme de Fiabilité (BDF),
- . divers traitements Markoviens (régime transitoire et stationnaire, génération automatique de modèles à partir d'expressions logiques, méthode des états fictifs, analyse par phases...),
- . divers traitement d'arbres de fautes (dessin automatique de l'arbre, coupes minimales, calcul de probabilités sans approximation, simulation avec prise en compte de lois d'apparition et de disparition des événements de base et de relations de dépendance stochastique...)

Les exemples des figures 7, 8 et 9 illustrent sur des cas simples les possibilités de couplage avec cet atelier.

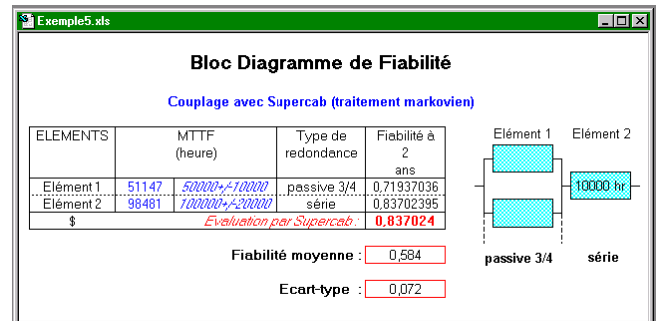


Figure 7. Dispersion sur la fiabilité d'une architecture de système

L'exemple de la figure 7 montre comment ce couplage permet de prendre en compte des dispersions sur les entrées (MTTF : durées de bon fonctionnement) d'un traitement particulièrement complexe (fiabilité d'une architecture de système évaluée à partir de modèles markoviens générés automatiquement [11]).

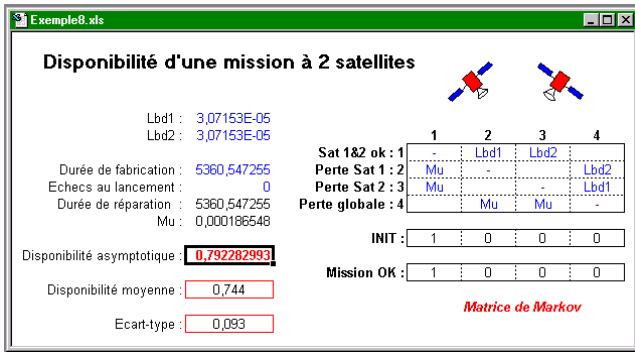


Figure 8. Dispersion sur la disponibilité d'une mission

De même, les exemples de la figure 8 et 9 illustre cette possibilité de couplage respectivement pour un traitement de matrice de Markov, et une évaluation de probabilité d'événement dans un arbre de fautes.

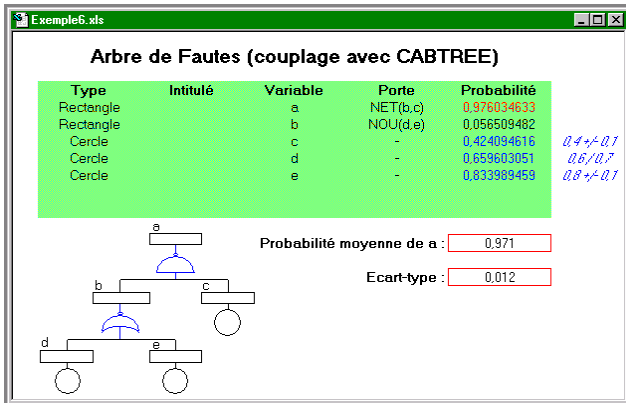


Figure 9. Dispersion sur la probabilité d'un événement

4.2 Couplage avec le logiciel GEN CAB

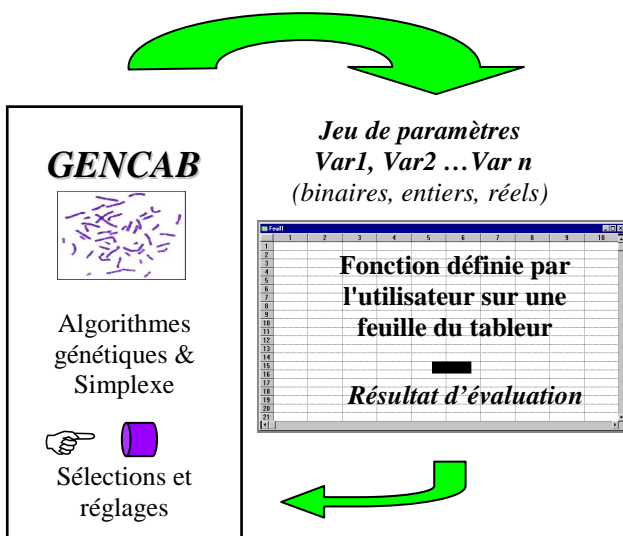


Figure 10. Principe de l'outil GEN CAB

Le logiciel **GEN CAB** est un outil générique d'optimisation basé sur une méthode hybride par Algorithmes Génétiques et Simplexe non linéaire [8].

Cet outil, qui a été primé au concours Innovation de l'ADERMIP et du Conseil régional Midi-Pyrénées en 1999 (2° prix dans la catégorie des inventeurs indépendants), permet d'optimiser les paramètres d'une fonction quelconque définie par l'utilisateur sur une feuille du tableur, sans s'arrêter au premier optimum local trouvé. Son principe est illustré par la figure 10.

L'outil recherche automatiquement la configuration optimale de paramètres (binaires, entiers, réels) qui maximise ou minimise le résultat de la fonction définie par l'utilisateur, en effectuant de nombreuses boucles de traitement.

Le couplage de **GEN CAB** à **SIM CAB** permet de réaliser des optimisations à partir de résultats de simulation (valeurs moyennes des résultats ou combinaison avec les écarts-type). L'exemple de la figure 11 illustre cette possibilité de couplage.

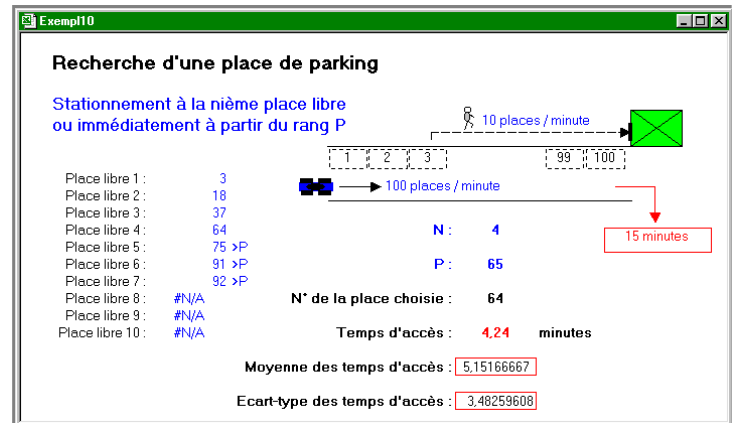


Figure 11. Optimisation des paramètres d'une stratégie à partir de résultats de simulation

Dans cet exemple, les deux paramètres optimaux de la stratégie de stationnement (Nième place libre et rang P à partir duquel la première place libre sera systématiquement prise) sont recherchés par **GEN CAB** en minimisant la moyenne des temps mis pour atteindre l'objectif, évaluée par **SIM CAB**.

CONCLUSIONS :

Si les techniques de simulation sont susceptibles de répondre à des besoins multiples, leur diffusion tarde à s'élargir rapidement dans le contexte industriel. Bien qu'elles reposent, pour l'essentiel, sur des méthodes relativement matures, elles rencontrent en effet d'importantes difficultés de mise en œuvre.

De par ses performances et sa simplicité d'emploi, l'outil de simulation **SIM CAB** est susceptible de pallier ces

difficultés et d'apporter une réponse particulièrement efficace en regard des enjeux.

Outre sa capacité à évaluer des dispersions dans des calculs divers, Il permet en effet de modéliser et simuler très rapidement des problèmes relativement complexes, sans nécessiter le développement de logiciels spécifiques ou l'emploi d'outils imposant un formalisme pouvant apparaître assez lourd, tels que les réseaux de Petri.

Sa capacité de couplage constitue également un sérieux atout :

. Son utilisation conjointe avec le logiciel de Sûreté de Fonctionnement **SUPERCAB+** permet de maîtriser les dispersions dans des évaluations de fiabilité/disponibilité, des calculs markoviens ou des traitements d'Arbre de Fautes.

. Son emploi avec l'outil générique d'optimisation **GENCAB** permet de réaliser des optimisations à partir de résultats de simulation, ce qui étend sensiblement le champ des problématiques couvertes. Il devient ainsi possible d'optimiser les paramètres d'une stratégie d'intervention sur un système faisant l'objet d'une simulation (commande/contrôle, gestion de trafic, maintenance ...).

Références :

[1] P. L'Ecuyer – *Uniform random Number Generators : A Review* - Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, IEEE Press, Dec. 1997, 127--134.

[2] H. Ben Ameer, P. L'Ecuyer, and C. Lemieux - *Variance Reduction of Monte Carlo and Randomized Quasi-Monte Carlo Estimators for Stochastic Volatility Models in Finance* - Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, IEEE Press, Dec. 1999, 336--343.

[3] Alessssandro Birolini - *Quality and Reliability of Technical Systems* – Springer, Verlag Berlin heidelberg 1997.

[4] Fishman G. S. - *Monte-Carlo Concepts, Algorithms, and applications* - Springer series in operation research, New York 1996

[5] A.Cabarbaye, Julien Séroi - *Optimisation dans le domaine de la Sûreté de Fonctionnement* 12^e Colloque National de Sûreté de Fonctionnement (λ/μ 12), Montpellier 28 - 30 mars 2000.

[6] Linda Tomasini, André Cabarbaye, Julien Séroi, Frédéric Garcia, - *Optimisation de la maintenance d'une constellation de satellites* - 12^e Colloque National de Sûreté de Fonctionnement (λ/μ 12), Montpellier 28 - 30 mars 2000.

[7] André Cabarbaye, Lamine Ngom - *Simulation dynamique des arbres d'événements* - 12^e Colloque National de Sûreté de Fonctionnement (λ/μ 12), Montpellier 28 - 30 mars 2000.

[8] André Cabarbaye – *Outil générique d'optimisation par Algorithmes Génétiques et Simplexe sous Microsoft Excel®* - 8^{èmes} Journées Nationales du groupe Mode (Mathématique de l'Optimisation et de la Décision) de la SMAI, 23 - 25 mars Toulouse.

[9] André Cabarbaye, Julien Séroi, Linda Tomasini - *Optimisation de la Sûreté de Fonctionnement des systèmes spatiaux* - 3^e Congrès International de Génie Industriel, Montréal 26 - 28 mai 1999.

[10] A. Cabarbaye, L. Tomasini, L. Ngom, S. Allibe - *Apport des algorithmes génétiques à la Sûreté de Fonctionnement et à l'optimisation des systèmes* - Congrès Qualita 99, 25-26 mars 99 Paris.

[11] A. Cabarbaye, L. Ngom - *Mise en œuvre de la méthode des états fictifs et génération automatique des matrices de Markov* - Congrès Qualita 99, 25-26 mars 99 Paris.