

## Simulation Monte Carlo avec Minitab® Statistical Software

La méthode Monte Carlo est souvent utilisée dans le cadre du DFSS ('Design for Six Sigma' c'est-à-dire, en français : 'Conception pour la réduction de la variabilité'), aussi bien pour analyser la sensibilité d'un prototype que pour prévoir des rendements futurs ou des valeurs de capabilité (Cp, Cpk). Idéalement, un produit devrait être le moins sensible possible à la variabilité du processus, de façon à ce que ses performances restent bien à l'intérieur des spécifications.

Si vous disposez du logiciel de statistiques Minitab, vous y trouverez toutes les fonctions nécessaires pour mener à bien ce type d'études.

### L'APPROCHE MONTE CARLO

La méthode de Monte Carlo est une technique probabiliste basée sur l'utilisation d'un grand nombre de tirages aléatoires.

Les simulations sont particulièrement utiles en phase de développement d'un produit, afin d'étudier la façon dont la variabilité des données en entrée se propage sur la variabilité de la réponse en sortie.

### Un exemple issu de l'industrie du semi-conducteur

Cet exemple illustre la façon dont la méthode Monte Carlo peut être mise en œuvre, afin d'étudier la sensibilité d'une caractéristique de sortie à la variabilité du processus, dans un procédé de fabrication industrielle.

Dans l'industrie du semi-conducteur, des procédés de Polissage Mécanique et Chimique (CMP) sont utilisés pour obtenir une bonne planéité des tranches de silicium, de façon à ce que les rendements soient les plus élevés possibles. Un plan d'expériences est

effectué afin d'accroître la « vitesse d'attaque » du polissage, ce qui permet de réduire le temps de cycle. Les effets de six facteurs sont étudiés.

Les résultats du plan d'expériences (**Stat > DOE > Plan Factoriel > Analyser un plan factoriel**) indiquent que la pression du bras ('Down Force' : DF), la vitesse de rotation du plateau ('Table Velocity' : VT) et la vitesse de rotation du support ('Carrier velocity' : VC) ainsi que l'interaction Pression (DF) \* Vitesse Plateau (VT) ont un impact significatif sur le temps de cycle.

L'outil d'optimisation de Minitab (**Stat > DOE > Plan Factoriel > Optimisation des réponses**) est ensuite utilisé pour identifier les paramètres optimaux pour maximiser la vitesse d'attaque (et donc pour minimiser le temps de cycle) : La vitesse du support (VC) doit être maintenue à un niveau bas, alors que la pression du bras (DF) et la vitesse du plateau (VT) doivent être augmentées.

Trouver une solution optimale n'est cependant pas suffisant. La robustesse de cette combinaison des niveaux des paramètres aux variations du processus doit aussi être prise en compte. Une analyse de la sensibilité à l'aide d'une simulation Monte Carlo permet d'estimer les rendements et les Cpk, dans des conditions normales de fabrication.

La méthode Monte Carlo peut être divisée en différentes phases :

- PHASE 1

Tout d'abord, identifiez les paramètres de procédé qui ont un effet statistiquement significatif :

$$\text{Vitesse d'Attaque} = 253 + 3.49 DF - 4.98 VC + 1.58 VT + 0.033 DF*VC$$

Pour mener une simulation Monte Carlo, il faut identifier le type de distribution des variables en entrée. L'idée est de générer un échantillon pour chacune de ces variables à partir d'une distribution déterminée précédemment.

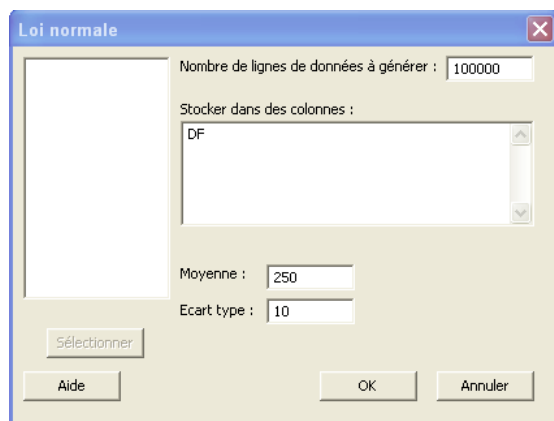
Nous nous attendons à ce que la pression du bras (DF) suive une distribution Normale de moyenne 250 et d'écart-type 10. Nous nous attendons à ce que la vitesse du support (VC) suive une distribution Normale de moyenne 14,5 et d'écart-type 3.

Enfin, nous supposons que la vitesse du plateau (VT) suit une distribution de Poisson de forme 4 et d'échelle 11.

- PHASE 2

Les valeurs des variables en entrée sont ensuite tirées aléatoirement. Le tirage aléatoire est effectué à l'aide de la fonction Données aléatoires de Minitab (> **Calc** > **Données Aléatoires** > puis indiquer les paramètres supposés de la distribution et stocker les résultats dans les colonnes de la feuille de travail).

Cette fonction permet de générer un échantillon aléatoire de très grande taille (100000 dans cet exemple) en quelques secondes seulement, afin d'obtenir une bonne précision sur les estimations.



- PHASE 3

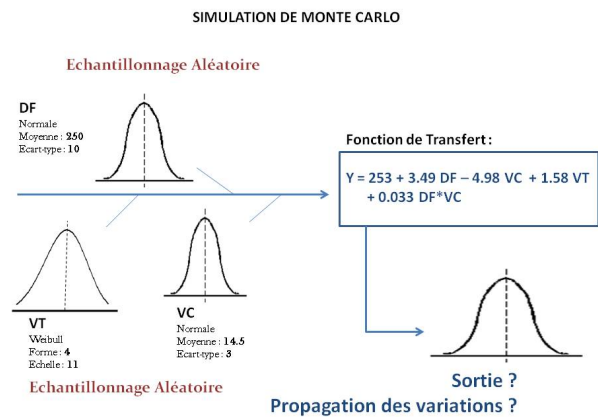
Il nous faut alors calculer une valeur numérique en sortie, à partir des données simulées des variables en entrée, qui ont été stockées dans les colonnes de la feuille de travail.

Utilisez la calculatrice Minitab (> **Calc** > **Calculatrice**) pour y introduire une

fonction de transfert issue du modèle final du plan d'expériences.

$$\text{Vitesse d'Attaque} = 253 + 3.49 \text{ DF} - 4.98 \text{ VC} + 1.58 \text{ VT} + 0.033 \text{ DF*VC}$$

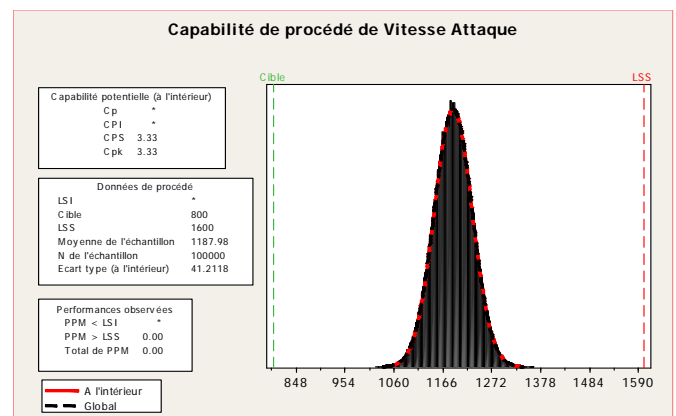
Diagramme 1. Exemple d'une simulation Monte Carlo.



Vous pourrez ensuite analyser la distribution simulée de la caractéristique de sortie. De nombreux outils statistiques et graphiques vous permettront d'étudier la réponse en fonction des objectifs de votre étude.

Une analyse de la capacité (**Stat** > **Outils de la Qualité** > **Analyse de capacité**) permet d'évaluer le comportement de la caractéristique de sortie dans des conditions normales de fabrication et d'estimer la plage de variation possible.

Diagramme 1. Exemple de l'analyse de Capacité



Lorsque la sensibilité de la caractéristique de sortie reste excessive et qu'aucune solution ne permet de réduire l'effet des variations des variables d'entrée, l'ingénieur process doit faire en sorte de mieux maîtriser la variabilité des variables en entrée, qui impactent directement la caractéristique de sortie.

## **CONCLUSION**

La possibilité de générer un nombre très important de données simulées ainsi que les fonctions intégrées d'analyses graphiques et statistiques, font de Minitab un outil très performant pour mettre en œuvre la méthode Monte Carlo.

Pour plus d'informations à propos des simulations Monte Carlo avec Minitab, ainsi que pour accéder à une librairie de macros Monte Carlo téléchargeables gratuitement (page en anglais), cliquez sur le lien internet indiqué ci-dessous :

[www.minitab.com/support/answers/answer.aspx?id=2219](http://www.minitab.com/support/answers/answer.aspx?id=2219)

**Bruno Scibilia**  
Formateur, Minitab Sarl

Visit [www.minitab.com](http://www.minitab.com) for more information about statistics.

Copyright ©2009 Minitab Inc. All rights reserved.