



# FORD MOTOR COMPANY

## LES PETITS DÉTAILS PEUVENT AVOIR UN IMPACT IMPORTANT SUR LA QUALITÉ

Étude de cas d'un partenaire



Ford Flex 2009

### **Le défi :**

Une variation de cote non contrôlée peut entraîner des reprises et des rebuts coûteux, et porter préjudice à l'image de la marque.

### **La solution :**

Le logiciel Sigmund aide Ford à analyser la tolérance et les fabrications d'assemblage dès la phase de conception.

La variété peut mettre du piment dans la vie, mais c'est un véritable fléau pour les sociétés de fabrication. Les concepteurs et les ingénieurs doivent prendre en compte d'inévitables variations, qu'elles soient infimes ou non, dans les produits issus de la chaîne de fabrication. Certaines sociétés telles que Ford anticipent les variations dès le début de leur cycle de développement de produits. D'autres croisent les doigts, commencent à fabriquer et réparent les dégâts ensuite.

Pour comprendre les problèmes susceptibles d'être générés par les variations, il faut d'abord se souvenir qu'aucun objet fabriqué n'est jamais parfait. Les données de conception assistée par ordinateur (CAO) représentent l'intention de conception nominale théorique —idéale—, mais pas nécessairement la véritable qualité ou performance du produit livré au client. La CAO ne fabrique rien ; ce sont les procédés d'assemblage et de fabrication du monde réel qui le font. Le fait qu'une conception semble correcte dans la CAO ne signifie pas qu'elle sera fabriquée correctement dans l'usine.

Un produit aussi simple qu'un cylindre d'un diamètre d'un pouce ne mesure jamais exactement un pouce de diamètre dans le monde réel. Il peut sortir de l'usine un peu plus épais, fin ou ovalisé. En fonction des tolérances spécifiées par le concepteur du produit (et des capacités de l'usine), la variation peut-être si spectaculaire que, une fois combinée à d'autres éléments variables, le produit obtenu est un échec.

Le risque est présent dans chaque conception. Selon certaines sources, la moitié des rebuts et des réusinages seraient dus à une mauvaise gestion de la tolérance et des variations. Ainsi les sociétés dépensent d'énormes sommes d'argent dans les coûts dus à une qualité médiocre, notamment la reconception, les ordres de modifications techniques, les rappels, la garantie, la responsabilité, les retards de mise sur le marché/lancement, les problèmes de fabrication chroniques et l'image de marque ternie. D'après la méthode Six Sigma, huit problèmes de qualité critiques sur 10 sont liés au contrôle de la variation des cotes.

« C'est une chose de prendre un risque de conception calculé et de se tromper », explique Bob Gardner, PDG de Varatech, une société qui a créé un logiciel d'analyse de tolérance et de fabrication d'assemblage nommé Sigmund® pour résoudre le problème. « C'est autre chose d'être totalement submergé de problèmes au lancement d'un produit en raison d'un manque d'analyse des diverses relations critiques entre des pièces variables. C'est ce qui se produit si les objectifs de qualité de fabrication ne sont pas définis en amont et si les données de tolérance, lorsqu'elles existent, sont simplement survolées arbitrairement à la fin de la conception. Cette situation peut coûter très cher ».

**« La véritable fonction de Sigmund est d'orchestrer le développement du produit ». « Les opinions définissent trop souvent les directions suivies pour un produit, mais les données objectives prévalent sur l'opinion. Avec des données objectives, il n'y a pas lieu d'argumenter. »**

— Glenn Reed, expert technique mécanique,  
Ford Motor Company

### **RENDRE LA QUALITÉ DE LA CONCEPTION ET DE LA FABRICATION DU PRODUIT PRÉVISIBLE**

Selon M. Gardner, il est essentiel de déterminer en amont des objectifs de qualité de fabrication, qu'il définit comme d'importantes relations d'assemblage qui affecteront l'adaptabilité, la finition et la fonctionnalité. Posez-vous la question : quelles sont les caractéristiques importantes de votre produit qui déterminent la qualité ? Pour la carrosserie d'une voiture de luxe, un indicateur de qualité pourrait être qu'un roulement à billes serait en mesure de glisser sans encombre sur toutes ses lignes à tout moment. Cela pourrait constituer un objectif de qualité de fabrication. Les objectifs de qualité de fabrication influencent les performances du produit et la façon dont il sera fabriqué sans problème en production.

Les meilleures équipes d'ingénieurs tirent leurs objectifs de qualité de fabrication de sources telles que l'évaluation de la concurrence, des tests de performances, des exigences marketing, des résultats d'analyse de la matrice QFD (Quality Functional Deployment - Développement des fonctions qualité), des exigences utilisateurs, des analyses de défaillances et de manuels techniques tels que le Machinery Handbook pour les relations mécaniques.

Une fois que ces objectifs de qualité de fabrication sont identifiés et quantifiés de sorte à produire des cibles mesurables, ces mêmes cibles serviront de références pour la conception. Par exemple, Ford Motor Company utilise le logiciel Sigmund de Varatech dans des études croisées pour déterminer quels concepts de conception seront les plus aptes ou robustes par rapport à la variation, la sensibilité géométrique et le respect des objectifs de qualité de fabrication prédéfinis. Les objectifs de qualité de fabrication déterminent quelles études basées sur Sigmund sont requises : Worst Case (Cas le plus défavorable), Modified RSS (Racine somme des carrés modifiée) et Monte Carlo Tolerance (Tolérance de Monte-Carlo). Ces études sont traditionnellement effectuées à la main ou sur des feuilles de calcul sans lien avec le logiciel de CAO utilisé dans la conception, rendant ainsi difficiles le développement, la mise à jour et la maintenance de toutes les informations de tolérance/variations. Sigmund, en revanche, facilite la tâche des concepteurs dans la démonstration que la conception est en mesure de remplir tous les objectifs de qualité de fabrication avant la phase de conception/usinage, grâce à des données objectives basées sur la CAO. Les équipes peuvent éviter les retards et les coûts significatifs associés à une qualité médiocre dès le départ, et disposent d'une base de référence à laquelle revenir si nécessaire.

## FORD : COMMENCER PAR UNE CONCEPTION DE QUALITÉ

Ford utilise Sigmund avec le logiciel de CAO 3D SOLIDWORKS® pour garantir un niveau de qualité supérieur. Glenn Reed, un expert technique mécanique Ford basé à Dearborn, Michigan, est un utilisateur chevronné. Il utilise les logiciels SigmundWorks, Sigmund ABA et SOLIDWORKS pour contrôler les nouvelles conceptions des fournisseurs et des ingénieurs du monde entier en matière de systèmes d'info-divertissement, notamment les lecteurs DVD, CD et autoradios. Il s'assure qu'ils remplissent leurs objectifs fonctionnels et de fabrication avant la phase d'usinage.

Pour commencer son travail sur une conception, Glenn Reed importe un fichier IGES, STEP ou Parasolid dans le logiciel SOLIDWORKS. « Le logiciel SOLIDWORKS est un outil puissant pour importer les conceptions, quelle qu'en soit la source, les nettoyer et les paramétrer à l'aide de FeatureWorks® », dit-il.

Il passe ensuite à SigmundWorks, l'outil d'analyse de Varatech pour le logiciel SOLIDWORKS. En tant que produit certifié Gold, SigmundWorks est entièrement intégré au logiciel SOLIDWORKS et s'utilise au sein même de son interface. Pour évaluer la qualité, Glenn Reed examine des milliers de scénarios hypothétiques, de cotes d'ajustement, de tolérance et de variations en même temps, à volonté.

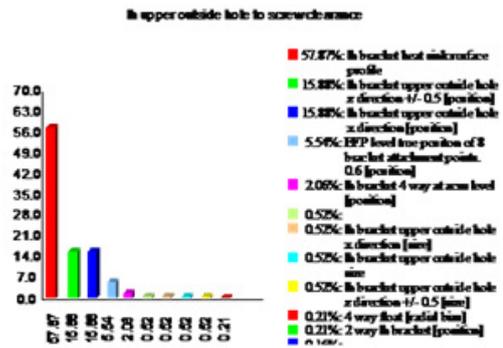
« SigmundWorks nous aide à définir et à comprendre nos besoins en matière de fabrication dès le départ », dit-il. « Nous comprenons l'impact en aval de chaque élément, cote et tolérance dans une conception sur le coût, la complexité ou la fabrication et l'assemblage. »

### SIGMUND EN ACTION CHEZ FORD

Par exemple, Glenn Reed a utilisé SigmundWorks pour mener des études de répétition de perçage à répétition de bossage de vis sur une interface entre le panneau de finition électronique et le panneau de finition central sur le Ford Flex 2009. Les études ont été conçues pour s'assurer du bon assemblage des pièces tout en maintenant un espace uniforme autour des boutons.

Le panneau de finition électronique est placé sur le panneau de finition central grâce à un élément repère bidirectionnel et un autre élément repère quadridirectionnel, puis fixé avec 17 attaches. La première analyse de correspondance de répétition de perçage de SigmundWorks indiquait des problèmes avec 5 % des assemblages en utilisant les perçages de vis de 3 mm de diamètre dans le panneau électronique de finition. Les perçages ont été augmentés de façon incrémentielle jusqu'à 3,8 mm à l'aide de l'analyse des correspondances de répétition jusqu'à ce que les 100 % de la construction projetée soient atteints. « Ce type d'analyse de correspondance perçage-tourillon est virtuellement impossible à faire à la main », selon Glenn Reed, « Avec Sigmund, il a suffi de modifier ce qui était nécessaire d'un point de vue taille et tolérance positionnelle pour garantir un assemblage correct. Ce fut facile et très rapide. »

Dans un autre cas, Ford a pu confirmer qu'un assemblage de lecteur CD fonctionnait comme prévu, sauf en cas d'utilisation de disques déformés de manière excessive. Même si l'exposition d'un disque à la chaleur ou à la lumière du soleil relève de la responsabilité du client, Ford a utilisé SigmundWorks et le logiciel SOLIDWORKS pour modifier les cotes du guide du disque et faire en sorte que le système soit plus robuste pour garantir un chargement et une éjection corrects avec des disques légèrement déformés. Ford a ainsi évité ce qui aurait pu être perçu comme un défaut de conception.



Comme l'indique ce graphique de sensibilité-Pareto Sigmund, seules quelques tolérances contribuent à la majeure partie de la variation. Les tolérances situées à droite ou qui ne s'affichent pas peuvent constituer des opportunités d'Économies !

Le but est de comprendre où la précision est nécessaire et où elle ne l'est pas.

Dans un autre exemple, Ford a découvert des boutons d'autoradio légèrement instables sur un nouveau modèle de voiture sur le point d'être commercialisé. Il s'agit d'un petit détail avec absolument aucun impact sur le fonctionnement, mais cela a un impact sur la perception de la qualité. En utilisant le logiciel d'analyse de fabrication d'assemblage Sigmund ABA, Ford a pu déterminer qu'une « sensibilité géométrique » cachée dans un petit jeu entre deux pièces apparées était à l'origine du problème. En d'autres termes, un petit écart a provoqué une grande instabilité car la relation inhérente à l'assemblage a amplifié cet impact (comme lorsqu'un petit mouvement du poignet déplace la pointe d'une épée de plusieurs dizaines de centimètres). Ford a pu identifier et joindre facilement l'interface d'un autre composant pour réduire l'instabilité. Les données objectives de l'analyse de Sigmund ont permis de justifier la modification de l'outillage du moule à injection de la production.

Ford exécute au moins 5 000 simulations de fabrication virtuelles sur une conception d'assemblage avec Sigmund. C'est comme si l'usine produisait 5 000 prototypes, tous légèrement différents en fonction des combinaisons possibles de variations au sein des tolérances autorisées. Sigmund trace ensuite un histogramme des fabrications. Si, dans l'une des conceptions initiales, 20 % des fabrications présentent une défaillance, les extrémités de l'histogramme indiquent les fabrications non conformes en rouge. Les parties bleues indiquent les fabrications conformes. Sigmund a la capacité d'identifier des erreurs de conception nominales et des décalages moyens dans les processus d'assemblage à l'avance.

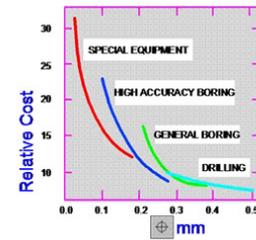
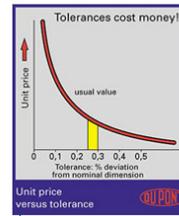
Il est très impressionnant de voir Sigmund animer une conception d'assemblage. Le puissant logiciel parcourt des milliers de fabrications virtuelles, en illustrant concrètement toutes les variations possibles, infimes et moins infimes, susceptibles d'affecter le composant fini. Il s'agit d'une représentation spectaculaire du fait que la perfection d'une conception est un mythe dans la production.

### EXEMPLES SUPPLÉMENTAIRES

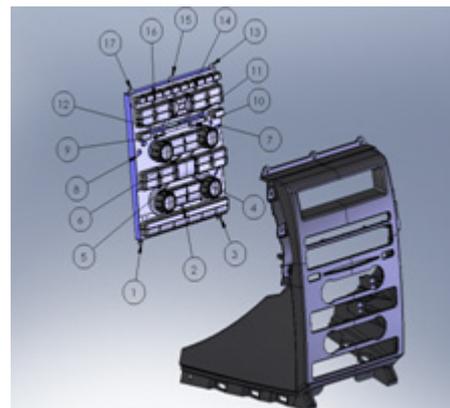
Ford utilise également Sigmund pour compléter d'autres types d'analyses, notamment l'analyse par éléments finis (FEA). La géométrie de la FEA est typiquement basée sur un modèle nominal qui n'existera jamais. L'ajout d'un composant réel et d'une variation d'assemblage à la géométrie de l'analyse par éléments finis minimise la différence typique entre les résultats de simulation et les tests. Sigmund prend en compte le composant réel et la variation d'assemblage et fournit des représentations réalistes de la géométrie déviée fabriquée dans le monde réel. Sigmund permet ainsi à l'équipe de développement d'analyser ce qui va réellement être produit afin d'obtenir des représentations plus précises de la performance du produit quand celui-ci quittera l'usine.

L'exemple à gauche d'un châssis d'autoradio en tôle montre de quelle façon les tolérances d'origine ont généré une boîte non carrée susceptible de créer des problèmes mécaniques. La FEA (à l'aide de NEiWorks) de la géométrie nominale du boîtier de châssis d'autoradio a indiqué un résultat. La géométrie du boîtier dévié du monde réel de Sigmund a permis d'obtenir des résultats de FEA avec des différences significatives. Une fois la fabrication effectuée, les effets du composant en termes de variations et de chargement sur les assemblages pourraient rendre un nombre significatif de ces châssis non conformes et les envoyer à la casse. Ford a été en mesure d'éviter le problème en affinant sa conception.

« Chez Ford, Sigmund dirige l'évaluation du concept, la conception, la sélection des matériaux, le programme qualité, les fournisseurs et la sélection des processus », explique Glenn Reed. « En fait, Ford a créé une nouvelle règle qui affecte l'ensemble des fournisseurs. Avant la réalisation des outils, les fournisseurs doivent exécuter les études : Cas le plus défavorable, RSS modifiée et Tolérance de Monte-Carlo à l'aide d'un logiciel de simulation pour démontrer les objectifs de fabrication. Il va sans dire que j'aime cette idée. »



Coût du graphique de précision : des tolérances minimales entraînent des coûts très élevés



Espacement uniforme obtenu. 100 % de la fabrication prévue.

## À propos de Ford Motor Company

**Siège social :** Centre de service clientèle  
P.O. Box 6248  
Dearborn, MI 48126  
Téléphone : 1 800 392 3673

**Pour plus d'informations**  
[www.ford.com](http://www.ford.com)

Bien que les analyses de tolérance et de fabrication d'assemblage nécessitent du temps et des efforts au début d'un projet, cet investissement est minime en comparaison des coûts et du travail consécutifs aux rebuts, aux reprises, aux réclamations au titre de la garantie et aux rappels.

« La véritable fonction de Sigmund est d'orchestrer le développement du produit », selon Glenn Reed. « Les opinions définissent trop souvent les directions suivies pour un produit, mais les données objectives prévalent sur l'opinion. Nous pouvons désormais dire : "Voilà les conceptions A, B et C, et les études Sigmund associées. Comme vous pouvez le voir, la conception B n'atteint pas l'objectif, vous devez donc assouplir votre norme de qualité ou choisir entre les conceptions A ou C." Avec des données objectives, il n'y a pas lieu d'argumenter ».

SigmundWorks est un produit Gold certifié, Sigmund ABA pour le logiciel SOLIDWORKS et Sigmund ABA Kinematics pour le logiciel SOLIDWORKS sont des produits Solution Partner. Ford s'appuie sur Varatech et le revendeur du logiciel SOLIDWORKS autorisé DASI Solutions pour la formation, le support et l'implémentation continus du logiciel.

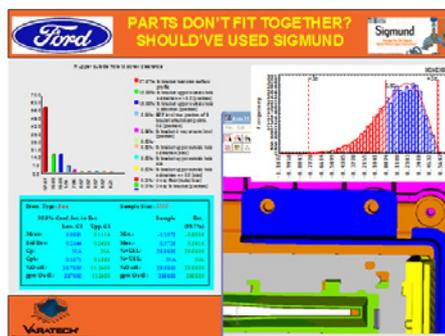
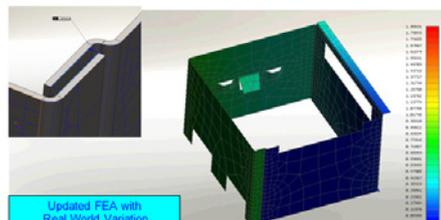
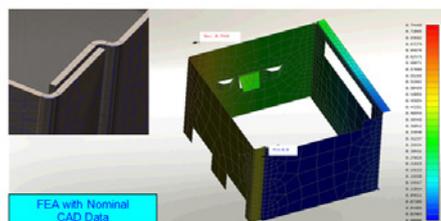
Pour plus d'informations, consultez les pages suivantes :

[dasisolutions.com](http://dasisolutions.com)

[www.ford.com](http://www.ford.com)

[www.solidworks.com/fr](http://www.solidworks.com/fr)

[www.varatech.com](http://www.varatech.com)



La figure ci-dessus montre un rapport Sigmund typique :

- 1) Vue de l'objectif de construction documenté, qui peut également être un fichier AVI intégré montrant la variabilité animée de l'assemblage.
- 2) Rapport statistique indiquant des informations de premier niveau, par exemple : pourcentage de non-conformité, Cpk et PPM, ou « parties par million » pour Six Sigma, ainsi que des données statistiques avancées.
- 3) Étude de sensibilité de l'objectif de fabrication fournissant un ordre de classement (en pourcentage de contribution à l'objectif) pour toutes les tolérances et variations d'assemblage du composant.
- 4) Histogramme indiquant où la population des valeurs simulées s'est produite par rapport à leurs limites d'objectif de fabrication spécifique. L'histogramme révèle également le type de distribution et indique s'il existe un décalage moyen, qui peut souvent être causé par le procédé d'assemblage.

## Au service de 11 industries, la plate-forme 3DEXPERIENCE® dynamise nos applications de marque et propose une vaste gamme de solutions industrielles.

Dassault Systèmes, « l'entreprise 3DEXPERIENCE® », offre aux entreprises et aux particuliers les univers virtuels nécessaires à la conception d'innovations durables. Ses solutions leaders sur le marché transforment la façon dont les produits sont conçus, fabriqués et maintenus. Les solutions collaboratives de Dassault Systèmes permettent de promouvoir l'innovation sociale et offrent de nouvelles possibilités d'améliorer le monde réel grâce aux univers virtuels. Le groupe apporte de la valeur à plus de 250 000 clients issus de tous les secteurs, toutes tailles confondues, dans plus de 140 pays. Pour plus d'informations, consultez le site [www.3ds.com/fr](http://www.3ds.com/fr).



 **DASSAULT SYSTEMES** | The **3DEXPERIENCE®** Company

### Europe/Moyen-Orient/Afrique

Dassault Systèmes  
10, rue Marcel Dassault  
CS 40501  
78946 Vélizy-Villacoublay Cedex  
France

### Amériques

Dassault Systèmes  
175 Wyman Street  
Waltham,  
MA 02451 Etats-Unis

### Bureau français

+33 (0)1 61 62 35 10  
[infofrance@solidworks.com](mailto:infofrance@solidworks.com)