

# Conception et Fabrication Paramétrée (CFP)

Alexandre PRÉVOT, Lionel SCULLER, Denis TEISSANDIER, Vincent DELOS, Yann LEDOUX

## Le saviez-vous ?

Tous les objets ont des "défauts". Parlons plutôt d'écarts. Peu importe la précision de nos procédés de fabrication, tout ce que l'on fabrique est imparfait. Les murs de votre maison ne sont pas droits et même votre mètre ne mesure pas exactement un mètre. Un concepteur ne peut pas se contenter de définir son produit par sa géométrie nominale. Il doit aussi indiquer des limites d'écarts acceptables sur sa géométrie. Cela est indispensable à la qualification de sa conformité.

## Le tolérancement fonctionnel :

Le concepteur doit donc traduire les exigences fonctionnelles de son système global en conditions fonctionnelles géométriques (CFG) entre les différents sous-ensembles et composants du système. Par exemple: un turbomoteur d'hélicoptère devant délivrer une puissance de 1500 SHP en maximum 10 minutes, à des températures environnantes allant de -50°C à 60°C, se verra attribuer une architecture nominale. Ses concepteurs réaliseront des études sur le comportement du système, et déduiront des CFG garantissant le respect des exigences fonctionnelles, par exemple :

- Le jeu radial entre un rotor de compresseur et son couvercle (stator) doit être compris entre 0,12 et 0,17 mm.
- La section de passage de l'air dans les différentes parties du compresseur doit être maîtrisée à  $\pm 1,3\%$ .

Afin de s'assurer que les conditions fonctionnelles géométriques sont respectées, le concepteur doit **redistribuer les tolérances des CFG** sur les géométries des différents sous-ensembles interchangeables. Ainsi, pour chaque sous-ensemble, le concepteur associe des tolérances à toutes ses surfaces fonctionnelles. On appellera ces spécifications des **cotes fonctionnelles**. Elles complètent le modèle nominal du sous-ensemble et figurent sur son plan de définition.

## Le transfert de fabrication :

L'objectif du processus de fabrication est de produire le sous-ensemble conformément à son plan de définition, à **moindre coût**. Au plus les tolérances fonctionnelles sont serrées, au plus les procédés (techniques et machines utilisées) de fabrication doivent être précis, et au plus la production est chère. La fabrication d'un sous-ensemble se fait généralement en plusieurs opérations de fabrication. La majorité des cotes fonctionnelles sont finalisées après réalisation de plusieurs **cotes de fabrication**. Les tolérances des cotes fonctionnelles sont alors réparties sur les tolérances des cotes de fabrication. La conformité du produit est donc garantie si toutes les cotes de fabrication sont conformes. Cette répartition s'appelle le transfert de fabrication. Si la tolérance d'une cote fonctionnelle est serrée, les tolérances des cotes de fabrication le sont encore plus. Plus il y a d'opérations de fabrication, plus les cotes de fabrication sont difficiles à réaliser, et cela coûte plus cher.

## Vers un nouveau processus de fabrication adaptatif :

Le transfert de fabrication présente un inconvénient majeur: si une des cotes de fabrication n'est pas conforme, on ne peut pas garantir que la ou les cote(s) fonctionnelles(s) impactées par cette cote de fabrication soit(soient) conforme(s). Si une cote de fabrication n'est pas conforme, un expert fait une analyse onéreuse, basée sur le retour d'expérience, qui conduira à déterminer si le sous-ensemble en cours de fabrication peut être accepté, rattrapé, ou s'il doit être rebuté.

La démarche de conception et fabrication paramétrée (CFP) a pour objectif de ne plus fabriquer suivant un processus basé sur le transfert de fabrication. Elle consiste à **adapter automatiquement les cibles** de fabrication au fil de la gamme. Pour chaque sous-ensemble unitaire, les écarts générés peuvent être mesurés, et compensés en réajustant les paramètres de fabrication de l'opération en cours. Un outil de recherche de la combinaison de paramètres optimale permettra de maximiser la probabilité que toutes les conditions fonctionnelles impactées par l'opération en cours soient respectées. Cette optimisation nécessite :

- Une traçabilité fonctionnelle, de l'opération de fabrication en cours aux conditions fonctionnelles de haut-niveau.
- Un jumeau numérique du sous-ensemble réel, obtenu à partir de mesures précédentes de l'opération en cours.
- Une estimation des dispersions propagées par les sources d'écarts (précision machine, incertitudes de mesure).
- Une communication ordonnée entre les moyens de mesures, l'outil d'optimisation, et les procédés de fabrication.

Le périmètre de cette démarche de conception et de fabrication se limite aux sous-ensembles interchangeables dans le système (pour des raisons de maintenance). Cependant, il n'est pas exclu d'étendre l'adaptation de paramètres de fabrication au système global, et de faire de l'appairage entre sous-ensembles, à condition que l'on dispose des données des sous-ensembles déjà produits. Cela aurait pour conséquence de remettre en cause leur interchangeabilité.