



## L'optimisation de forme pour la fabrication additive métal

**L'optimisation de formes de structures mécaniques est de nos jours incontournable dans l'industrie mécanique (automobile, aéronautique, etc.). Pour rester dans la compétition mondiale, les entreprises se doivent de concevoir des structures qui, en plus de respecter des performances mécaniques précises, doivent être moins coûteuses avec des délais de plus en plus courts. Les ingénieurs doivent alors réaliser des formes pour leurs structures qui soient un meilleur compromis entre les performances mécaniques et fonctionnelles, le poids, le coût de fabrication...**

Les ingénieurs sont donc amenés à intégrer l'optimisation de formes de structures mécaniques dans leur démarche de conception dès les phases amont. Cette nouvelle démarche doit intégrer dès le début de la conception les exigences du cahier des charges comme les contraintes de fabrication, les performances thermo-mécaniques, les exigences de poids et de coût, ... en accord avec tous les acteurs du projet. Par cette méthode de travail liée au développement des algorithmes mathématiques de résolution des problèmes d'optimisation de structures, on reproduit « de façon automatique grâce à des logiciels de modélisation numérique et d'optimisation ce qu'un concepteur réalise de manière manuelle, en y ajoutant de nombreux avantages » (Allaire & Jouve, 1999) :

- possibilité de balayer un espace de conception plus large
- possibilité de réaliser des calculs automatiques
- possibilité de mettre en place des plans d'expériences et de créer ainsi des fonctions d'approximation si besoin
- possibilité d'atteindre un optimum grâce à des algorithmes de plus en plus performants.

Ces méthodes dites « automatiques » permettent de trouver des solutions optimales pour les structures même si d'après (Roy & al, 2008), en réalité, l'identification d'une conception optimale pour un problème industriel est difficile en raison de la taille des problèmes et du manque de connaissance qu'on peut avoir sur les sujets.

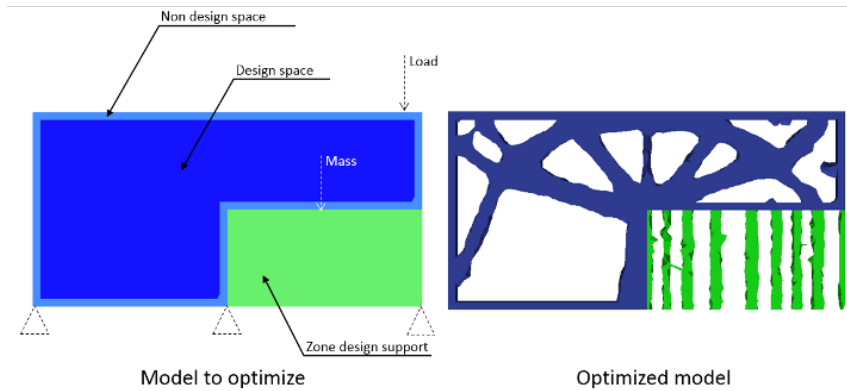
Dans le cas de l'optimisation de formes de structures mécaniques, les variables concernées sont les formes des structures elles-mêmes. C'est une optimisation plus compliquée que l'optimisation traditionnelle où les variables sont par exemple les propriétés des matériaux. On distingue trois grandes catégories d'optimisation de formes de structures en mécanique que sont (Allaire, 2007) :

- « l'optimisation de formes paramétriques où les formes sont paramétrées par un nombre réduit de variables (par exemple, une épaisseur, un diamètre, des dimensions) ». Cette catégorie d'optimisation ne permet pas l'exploration d'autres formes possibles ou admissibles mais elle permet de trouver (de calculer) les dimensions optimales des formes paramétrées (formes existantes dans le modèle)
- « l'optimisation de formes géométriques où, à partir d'une forme initiale, on varie la position des frontières de la forme ». Cette optimisation grâce à la variation des frontières permet de trouver les contours optimisés pour les structures sans changer leur topologie initiale, c'est à dire le nombre de trous en deux dimensions
- « l'optimisation de formes topologiques où l'on cherche, sans aucune restriction explicite ou implicite, la meilleure forme possible quitte à changer de topologie ».

Cette troisième catégorie d'optimisation est une méthode appropriée pour la phase de conception d'une nouvelle pièce car elle permet d'explorer de nouveaux concepts et de trouver des solutions dans les zones difficiles d'accès pour les ingénieurs. Avoir la possibilité d'explorer des espaces de conception avant de fournir une forme spécifique permet d'obtenir des formes tout à fait innovantes tout en respectant une partie du cahier des charges. Mais cette exploitation nécessite une compréhension des algorithmes sous-jacents et une intégration de la connaissance métier afin d'orienter fonctionnellement l'optimisation.

Le mariage entre la fabrication additive et l'optimisation topologique est extrêmement prometteur sur de nombreux points :

- la possibilité de minimiser le volume matière utilisé que ce soit la matière ou le support. Le gain peut être très important par exemple sur les pièces en acier notamment pour les problèmes de masse
- la fabrication d'une pièce respectant un cahier des charges de tenue mécanique. Dans le cas d'une non disponibilité du comportement de la pièce, l'objectif est de tester sa tenue à son propre poids tout en respectant le critère de minimisation cité précédemment
- les libertés de forme fabricable grâce au procédé de couche par couche permettraient de directement imprimer les formes proposées par l'optimisation topologique. Une réadaptation du modèle n'est ainsi plus nécessaire.



Exemple d'optimisation topologique de l'intérieur d'une pièce et ses supports

Le caractère innovant repose sur la possibilité de marier les deux technologies que sont l'optimisation topologique (ou des optimisations dédiées à la fabrication additive) et la fabrication additive. Par ce fait la modélisation de la connaissance dédiée à la fabrication additive pour l'optimisation topologique est également une innovation. Un autre point innovant sera apporté par l'utilisation de la méthodologie développée pour alléger les pièces tout en gardant leur aspect extérieur avec également la possibilité d'optimiser l'intérieur des modèles (voir la partie bleue visible sur la figure suivante). Cette technique d'optimisation pourra ainsi remplacer les formes répétitives non contextuelles utilisées classiquement pour l'allègement en FA (nid d'abeilles par exemple) (Abramovitch & al, 2010) (Galantucci & al, 2008)

### Cas pratique : Beyond Aero



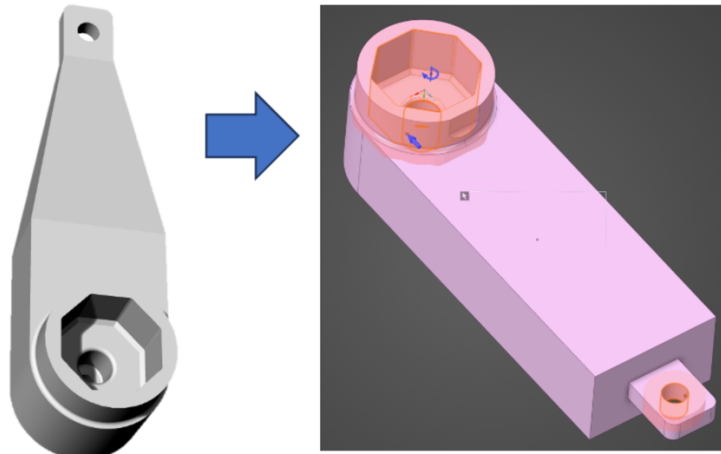
ULM G1 dont la manette de gaz est inspirée pour le projet de Beyond Aero

Dans le cadre de son nouvel avion, l'entreprise [Beyond Aero](#)<sup>TM</sup> s'inspire de la manette de gaz de l'ULM G1. Nous avons réalisé une optimisation topologique sur la manette de gaz de cet ULM dans le but d'augmenter sa rigidité, de réduire sa masse et son coût de fabrication. Ce travail vise à étudier diverses optimisations topologiques en indiquant une contrainte liée à la technologie de fabrication additive, une contrainte de surplomb, et de la comparer à une optimisation sans cette contrainte. L'objectif est d'imprimer la pièce en Inco 174PH.



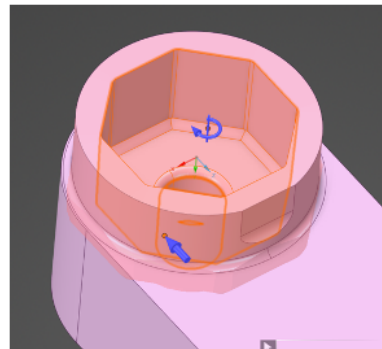
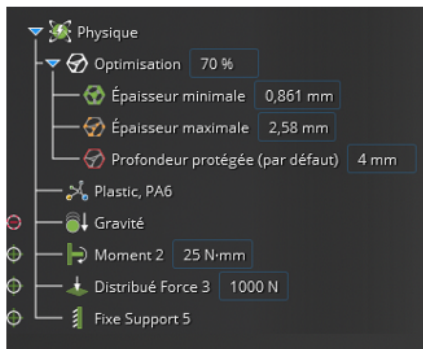
*Méthodologie de réponse à la demande client*

**CAO** : la première étape consiste à créer les espaces de conception qui correspondent aux zones disponibles dans l'environnement d'assemblage.

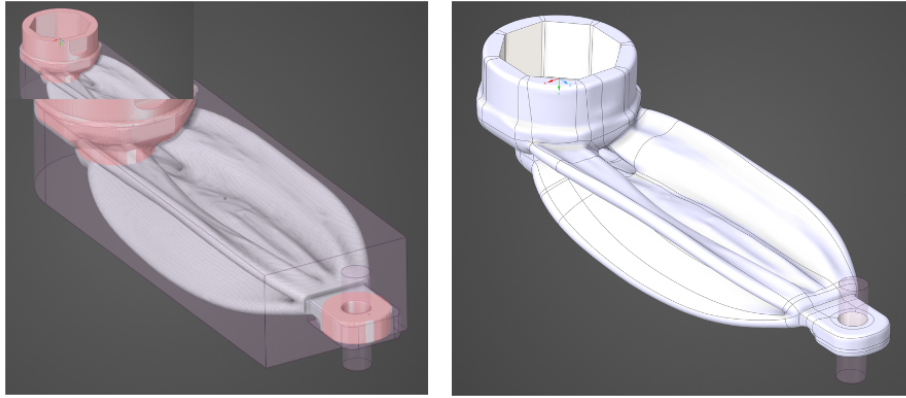


*Fichier STL donné par le client > Augmentation du volume de conception à partir du fichier STL sur le logiciel Discovery Live©.*

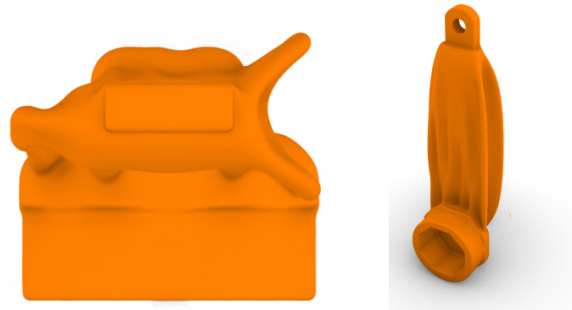
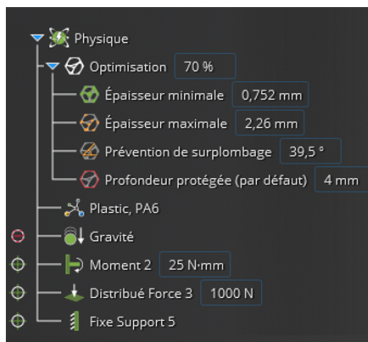
**Optimisation topologique** : la mise en données consiste à définir les cas de charge ainsi que les paramètres permettant de réaliser l'optimisation topologique.



*Les paramètres sont définis dans Discovery Live © et indiquent le taux de matière à retirer (optimisation 70%) avec la taille des éléments qui le composent. Le moment est représenté par la flèche circulaire bleue, la force est représentée par son orientation avec la flèche droite bleue.*

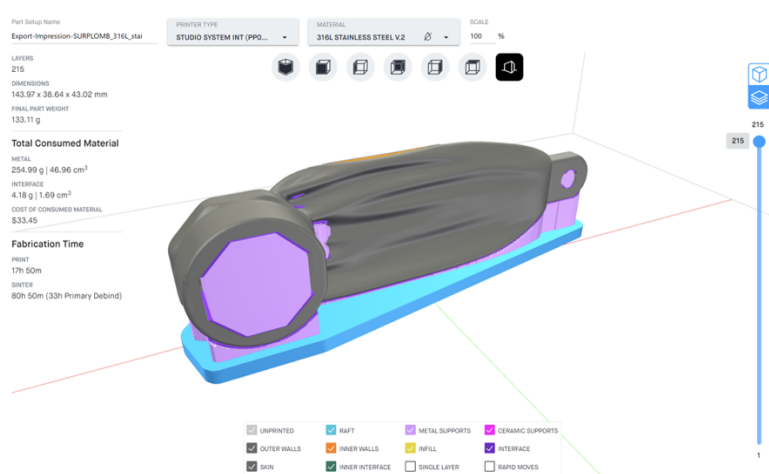


A gauche : la pièce modélisée sans contrainte de surplomb se réduit pour ne conserver plus que la matière utile à l'usage de la pièce. A droite : modélisation automatique par Discovery Live© pour avoir un fichier exploitable.



A gauche : Les nouveaux paramètres rentrés dans Discovery Live© avec la contrainte de surplomb de 39,5° (imposant d'éviter les porte-à-faux de plus de 39,5°). A droite : représentation automatique par Discovery Live © pour avoir un fichier exploitable.

Cette première optimisation a permis de diminuer le volume de la pièce de 60% mais elle n'est pas pour autant optimisée pour être imprimée en 3D. Beaucoup de support est créé par le logiciel car la forme ne permet pas d'être imprimée sans. L'optimisation a donc permis de réduire le volume de la pièce, mais il est nécessaire d'ajouter une contrainte de surplomb pour minimiser le support.



Capture d'écran de l'interface du logiciel Live Studio© une fois la pièce avec la contrainte de surplomb slicée. La position de la pièce par rapport au plateau est celle qui induit le moins de support.



On observe donc que les deux optimisations ont permis de réduire le volume de base de plus de la moitié. Le plus faible volume est représenté par la pièce sans contrainte de surplomb qui représente seulement 40% du volume initial. Tandis que la pièce avec la contrainte de surplomb représente 47% du volume initial. Cependant, la contrainte de surplomb a permis de s'affranchir de nombreux supports lors de l'impression permettant d'économiser 50g de matière, 5h d'impression et plus de 12h de temps de four, par rapport à la pièce sans cette contrainte.



A gauche le fichier de base et son volume de 53cm<sup>3</sup>, au milieu la pièce optimisée sans surplomb qui fait 21cm<sup>3</sup>, et à droite la pièce optimisée selon une contrainte de surplomb et son volume de 25cm<sup>3</sup>.



Visuel des deux pièces après impression et avant sa mise au four.

**Synthèse** : nous avons pu observer que le gain de masse est plus important sans la contrainte de surplomb. Mais le gain sur le procédé de fabrication est très intéressant, notamment le temps de fabrication, et le post-traitement facilité.



Présentation des pièces après impression. A gauche la pièce sans contrainte de surplomb, à droite la pièce avec contrainte de surplomb.