

# Optimisation topologique, la conception mécanique du futur est là

LYNDA ALLOUACHE [1], JONATHAN VAN RHIJN [2]

*Quelle forme doit avoir ma pièce mécanique pour être optimale ? Les logiciels d'optimisation topologique comme Inspire proposent une solution simple et efficace pour alléger les pièces sans altérer leurs performances mécaniques.*

Aujourd'hui, la simulation numérique n'est plus seulement limitée à un nombre restreint de sociétés à la pointe de la technologie. Démocratisée, elle est désormais bien ancrée dans les processus de conception des entreprises, quels que soient leur domaine d'activité et leur taille. Les principales missions des bureaux d'études sont de concevoir, simuler et valider numériquement leurs produits.

Dans le contexte économique actuel, l'amélioration de la compétitivité des entreprises est un enjeu majeur. Cela se traduit par la recherche d'optimisation permanente entre d'une part le trinôme « coût-délai-qualité » et d'autre part l'innovation et le développement produits.

Les concepteurs doivent concevoir intelligemment, plus vite et mieux leurs futurs produits. C'est en cela que la maîtrise des outils de conception numérique devient stratégique. L'optimisation topologique fait partie de ces nouveaux outils offrant la possibilité d'accélérer et d'améliorer la conception.

## Conception numérique et optimisation topologique

La conception numérique consiste à réaliser un premier modèle numérique, aussi appelé prototype virtuel, que l'on va coupler aux différents outils de calcul de simulation numérique pour prévoir ses performances en « condition de vie ». Ces principaux outils sont le calcul de structure thermomécanique, le calcul de mécanique des fluides, le calcul électromagnétique, le calcul rhéologique...

La conception numérique est le plus souvent un processus itératif : si les résultats de la simulation montrent des défaillances du produit, la conception est alors modifiée puis revalidée numériquement. Le processus est ainsi réitéré jusqu'à l'obtention d'une solution conforme aux exigences définies. Ces étapes

### mots-clés

mécanique, modélisation, résistance des matériaux, matière et structure, enseignement de spécialité, ITEC, CAO et DAO, simulation, écoconception

### Différents types d'optimisation en mécanique

Une structure est définie par sa topologie, ses formes et des paramètres :

- **L'optimisation paramétrique** consiste à faire varier les paramètres, en général des dimensions de la structure (son épaisseur, sa longueur, par exemple). C'est le « premier degré » de l'optimisation ;
- **L'optimisation de forme** (ou géométrique) consiste à faire varier la forme. Par exemple, la recherche d'un contenant maximal pour une quantité de matière donnée, donc ayant une surface donnée, optimisera un cube en une sphère ;
- **L'optimisation topologique** permet, en plus, de faire varier la topologie de la structure. Pour simplifier, celle-ci autorise à faire des « trous » ou à rajouter des éléments de structure.

interviennent généralement en seconde partie de processus de conception.

Deux conditions sont nécessaires à la bonne réalisation d'un processus de conception numérique. Tout d'abord, les modèles doivent être suffisamment prédictifs pour pouvoir simuler le comportement en conditions de vie opérationnelle. Ensuite, les concepteurs doivent pouvoir apporter rapidement des solutions appropriées en cas de défaillance de la conception proposée.

Ce travail d'analyse et d'interprétation peut être long. Bien que les outils de simulation numérique aient fortement gagné en agilité, en rapidité et en performance, ce travail consiste encore à faire des allers-retours pour définir la meilleure conception.

L'optimisation topologique est un sous-domaine de la conception numérique. Elle consiste à trouver la répartition de matière idéale dans un volume donné soumis à des contraintes mécaniques. Les objectifs seront de minimiser la masse ou de maximiser la résistance mécanique.

### Inspire de solidThinking®

L'optimisation topologique intervient en amont dans le processus de conception numérique. Il permet d'orienter très tôt les concepteurs vers les formes optimales en adéquation avec les objectifs fixés. Concrètement, cela s'apparente à un processus de « rognage » de la matière qui est assujéti à des contraintes et des objectifs. À l'issue du processus d'optimisation, des formes structurelles optimales sont alors mises en évidence.

L'optimisation topologique permet de réaliser un travail de conception dit quasi automatique en opposition au travail par essais-erreurs décrit plus haut [1].

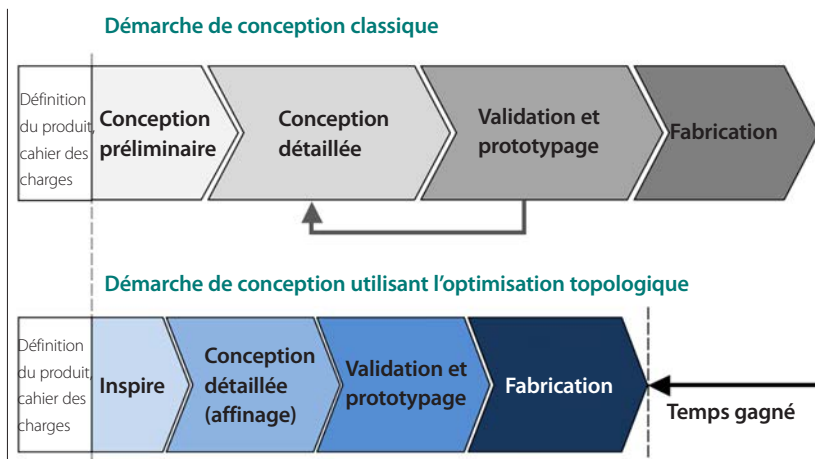
[1] Responsable marketing et communication chez Digidad

[2] Professeur agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur au lycée Gustave-Eiffel de Cachan (94)

# INSPIRE

solidThinking®

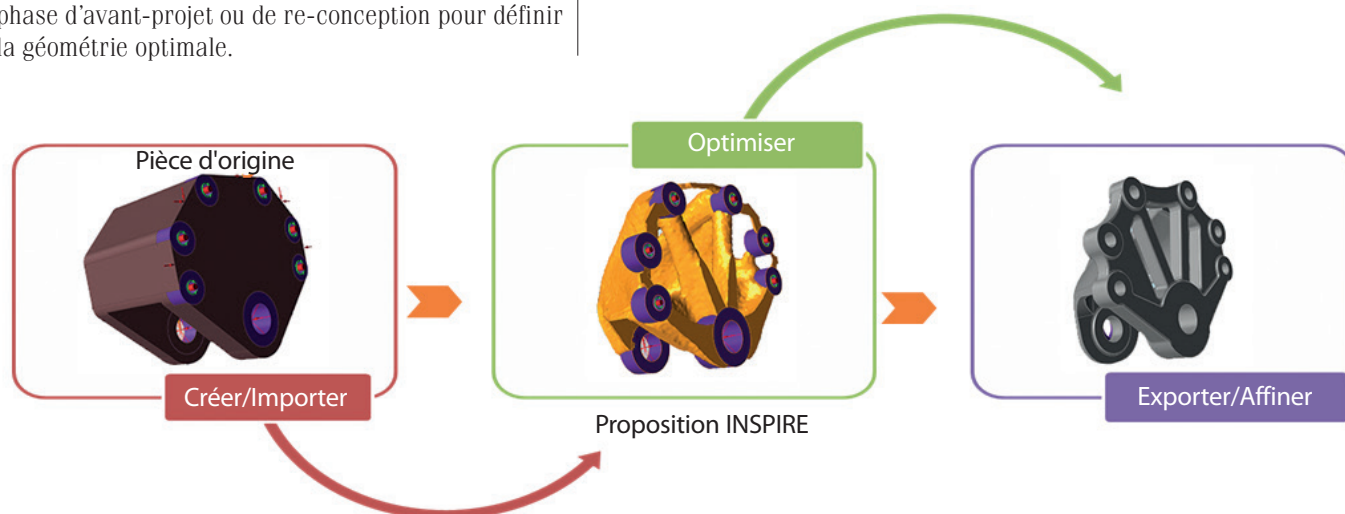
## Digicad



### 1 Accélérer le processus de développement de nouveaux produits avec Inspire de solidThinking®

Traditionnellement, les concepteurs simulent des charges sur une structure donnée pour déterminer si la pièce résisterait aux chargements appliqués. Avec l'optimisation topologique, c'est l'inverse : les concepteurs utilisent en données d'entrée la charge et un volume délimité pour proposer en sortie une structure optimisée **2**. Le logiciel produit une nouvelle géométrie où la matière est répartie de façon optimale dans un espace fonctionnel donné.

Le logiciel Inspire de solidThinking®, filiale d'Altair, est à mi-chemin entre l'outil de calcul numérique et le logiciel de modélisation qui aide les concepteurs en phase d'avant-projet ou de re-conception pour définir la géométrie optimale.



### 2 Les étapes de conception d'une pièce par optimisation topologique. Crédit Digicad © solidThinking

#### En ligne

Pour plus d'informations

[www.digicad.fr/solidthinking-optimisation-topologique](http://www.digicad.fr/solidthinking-optimisation-topologique)

Évaluer gratuitement Inspire

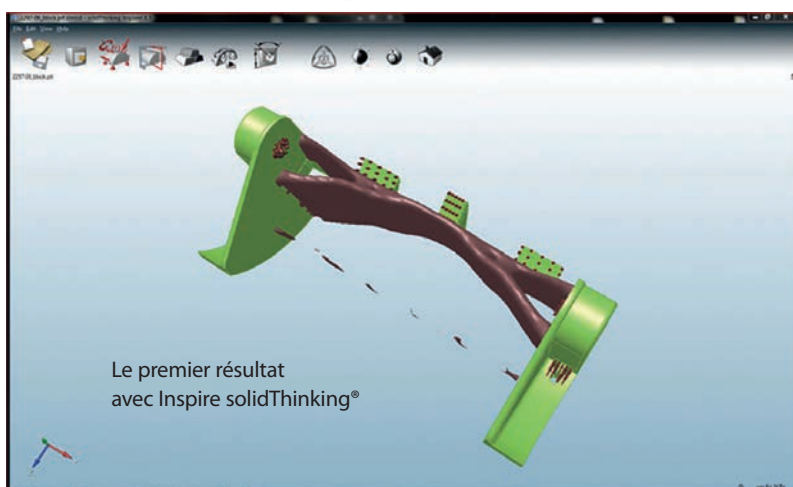
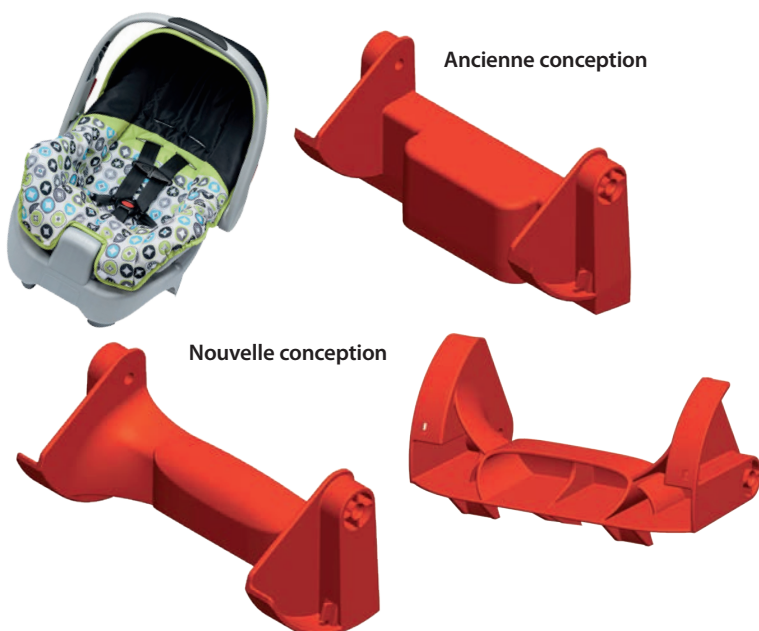
[www.digicad.fr/telecharger-solidthinking](http://www.digicad.fr/telecharger-solidthinking)

Retrouvez tous les liens sur <http://eduscol.education.fr/sti/revue-technologie>

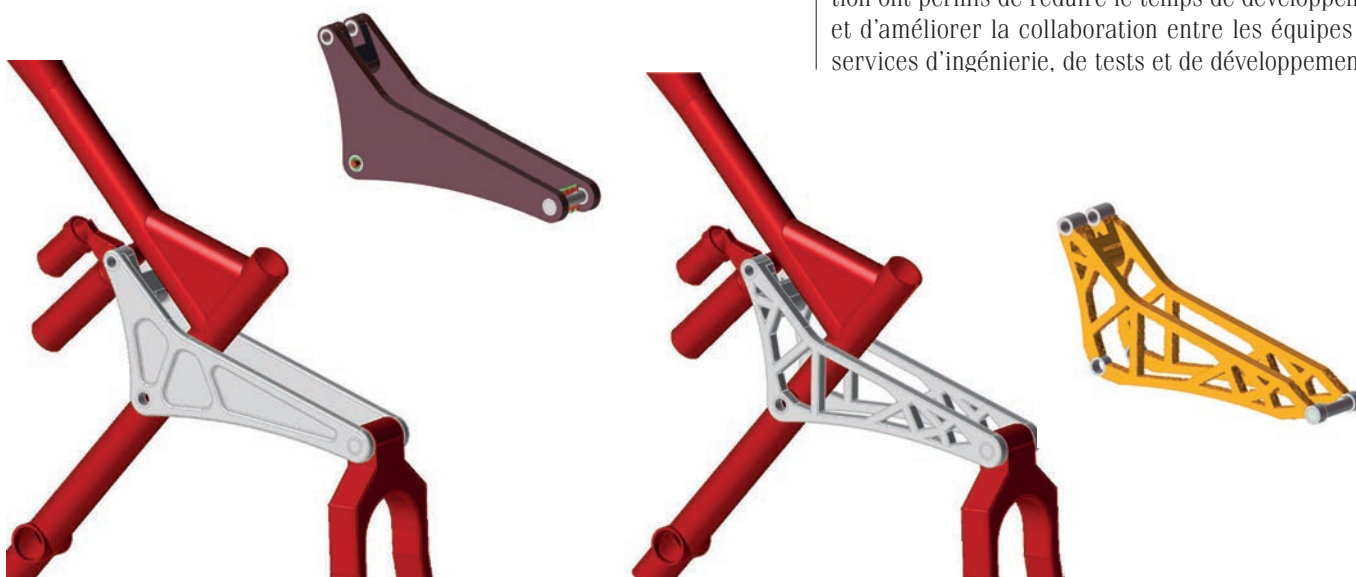
Complémentaire aux outils de simulation numérique, il aide les concepteurs, les designers ou les architectes à créer des concepts structurellement efficaces grâce à une nouvelle façon de concevoir des formes. La solution accélère ainsi le processus de développement de nouveaux produits, notamment dans des domaines où la recherche de structures plus légères et plus rigides devient un enjeu clé, comme dans l'aéronautique, le médical, l'automobile...

Les principaux gains reconnus par les utilisateurs sont :

- l'allègement du poids des pièces ;
- l'économie sur la quantité de matière première utilisée ;
- l'accélération du temps de développement ;
- la détermination rapide en avant-projet de la faisabilité ou non de certaines spécifications.



3 Reconception d'une pièce de siège auto par optimisation topologique. © Evenflo, © solidThinking



4 Empire Cycles a conçu une pièce 25 % plus légère. © solidThinking

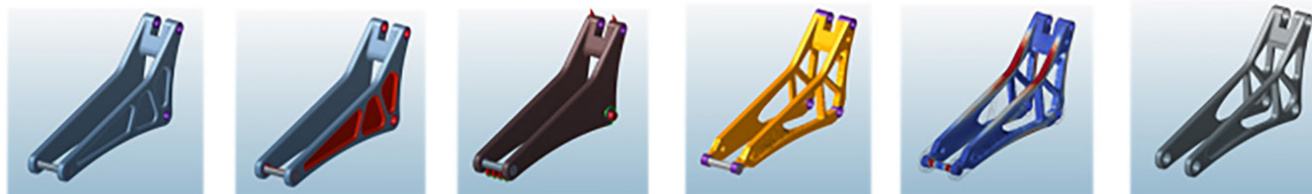
### Quelques exemples industriels

Evenflo, fabricant dans le secteur de la puériculture, a modifié la conception de ses sièges auto pour être 25 % plus légers sans compromettre la sécurité 3. « Inspire nous montre les endroits où la matière est essentielle et où elle ne peut pas être enlevée. Cela nous aide à comprendre plus tôt notre conception. Les résultats peuvent être utilisés comme un langage commun entre les départements. » témoigne Andy Davis, responsable conception, Evenflo Inc.

Cette solution est d'autant plus pertinente pour les industriels que, associée à l'impression 3D et à la fabrication additive, les concepteurs ont désormais les outils pour tirer pleinement parti des résultats d'optimisation obtenus. En effet, la fabrication additive offre la liberté de produire des pièces quelle que soit leur géométrie en s'affranchissant des contraintes de fabrication traditionnelle.

La société Empire Cycles, fabricant de vélos, s'est associée à un partenaire d'impression 3D pour la conception et la fabrication du cadre d'un modèle de VTT en titane, matériau à la fois extrêmement solide et très léger. La société a combiné deux technologies innovantes : l'impression 3D métal et le logiciel Inspire pour la génération de concepts géométriques optimisés 4. Le nouveau concept défini a non seulement atteint les objectifs de performance, mais aussi obtenu la masse minimale : le nouveau modèle, tout aussi résistant que l'original, est 25 % plus léger. Le concept a ensuite été fabriqué sur une imprimante 3D métal. Une première dans ce domaine d'activité !

Dans un autre domaine, le constructeur de poids lourds et d'autocars Scania a pu accélérer la phase de conception et de développement de ses véhicules en produisant des pièces plus légères et plus fonctionnelles. L'utilisation d'Inspire a permis à la compagnie suédoise de réduire de plus de 30 % le poids de ses pièces. De plus, ces simulations réalisées dès la phase de conception ont permis de réduire le temps de développement et d'améliorer la collaboration entre les équipes des services d'ingénierie, de tests et de développement.



créer ou importer une géométrie

simplifier le modèle

définir les matériaux et les chargements

générer la forme optimale

vérifier les performances

exporter et raffiner la géométrie

### 5 Principales étapes d'utilisation d'Inspire

#### L'optimisation topologique Inspire : un processus simple et rapide

Inspire a un autre avantage, celui d'être simple à utiliser et adapté aux besoins et aux compétences des concepteurs. Amir Omri, formateur chez Digicad, partenaire officiel de solidThinking®, le confirme : « La prise en main d'Inspire est intuitive et rapide. Chez Digicad, la formation sur le logiciel dure une journée seulement, comprenant des phases théoriques et des exercices d'application. »

Voici les principales étapes d'utilisation **5**.

**1. Import des données ou création de base du volume.** Pour commencer, le concepteur importe une géométrie existante depuis un format standard ou natif. Il peut également partir d'une page blanche. Dans ce cas, il utilise les fonctionnalités du logiciel pour dessiner simplement les volumes d'encombrement maximaux de la pièce. Opération simple et rapide grâce aux outils disponibles dans Inspire (dessins d'esquisses combinées aux opérations booléennes et d'extrusion de faces).

**2. Définition des contraintes et de l'objectif d'optimisation.** Le concepteur définit ensuite le matériau, les propriétés géométriques de la pièce et les chargements mécaniques imposés. Le logiciel dispose d'une bibliothèque des valeurs caractéristiques des aciers, aluminium, magnésium, titane... Cette bibliothèque peut être enrichie de données propres à l'utilisateur.

Il spécifie également les zones géométriques figées et celles où le logiciel peut opérer toutes modifications géométriques. Le concepteur définit le type d'optimisation souhaité : minimiser la masse ou maximiser la résistance mécanique. Plusieurs options sont disponibles pour encadrer le calcul, comme des contraintes limites de déplacement, la gestion du mode propre de la pièce et un facteur de sécurité. Il est également possible de rajouter des contraintes sur certaines zones, des répétitions cycliques (grille de trous ou schéma de nervures...) et en fonction du processus de fabrication envisagé : dimensions mini/maxi, sens de démoulage, contraintes d'emboutissage, d'extrusion... Aujourd'hui, l'impression 3D offre la possibilité de s'affranchir de ce dernier point.

**3. Lancement de l'optimisation et export du modèle optimisé.** Inspire assure ensuite automatiquement le

maillage et propose une solution en quelques minutes pour une pièce massive, en une à deux heures pour les pièces minces ou les assemblages complexes.

Si la pièce est destinée à être fabriquée sur une imprimante 3D, le résultat est exploitable directement. Dans le cas de fabrication selon les méthodes traditionnelles, Inspire donne la possibilité d'introduire des « options de fabrication ». Ces options permettent d'appliquer des contraintes aux modèles, comme la symétrie ou la répétition cyclique, les directions de démoulage pour le moulage ou l'emboutissage, ou les contraintes de déplacement.

À noter que la version Inspire 2016 fournit une nouvelle boîte à outils innovante « PolyNURBS » permettant d'envelopper les résultats d'optimisation. La géométrie sera donc traitée directement dans Inspire pour raffiner les surfaces sans avoir besoin d'un outil CAO.

#### Utilisation de l'optimisation topologique en projet d'Itec ou de S-SI

Dans un projet limité en temps, il est souvent difficile pour les élèves de faire des études comparatives réellement pertinentes pour justifier leurs choix de conception sur les critères de développement durable. Pour comparer plusieurs matériaux différents, puis choisir celui qui présente l'impact écologique le plus faible, il faudrait en toute rigueur dessiner autant de solutions différentes que de matériaux à comparer. À chaque fois, des études de calculs par éléments finis sont nécessaires, car tous les matériaux n'ont pas la même résistance et ne réaliseront pas les mêmes fonctions en occupant le même volume. Donc, pour gagner du temps, les élèves conçoivent une pièce et, après coup, y appliquent successivement plusieurs matériaux. Ensuite, ils comparent les résultats sur un logiciel calculant la consommation en énergie et en CO<sub>2</sub> sans que la forme de la pièce ne corresponde vraiment à aucun des matériaux testés.

En phase de conception préliminaire, l'optimisation topologique permettrait d'ajuster rapidement la forme d'une pièce aux matériaux à étudier. Les élèves pourraient ainsi faire des comparaisons de consommation énergétique et de CO<sub>2</sub> beaucoup plus pertinentes et s'inscrivant dans un protocole rigoureux et facile à appréhender. ■