

Conception et optimisation topologique d'une pièce...



En compétition nautique, les coques de bateaux sont soumises à des contraintes fortes pouvant affecter la rigidité de l'ensemble mâât/coque/quille et par suite les performances.

Afin de rigidifier l'ensemble mâât/coque/quille une barre de renfort (tube en composite : renfort fibre de carbone dans les voiliers de compétition) est disposée dans la largeur du voilier (figure ci-dessous).

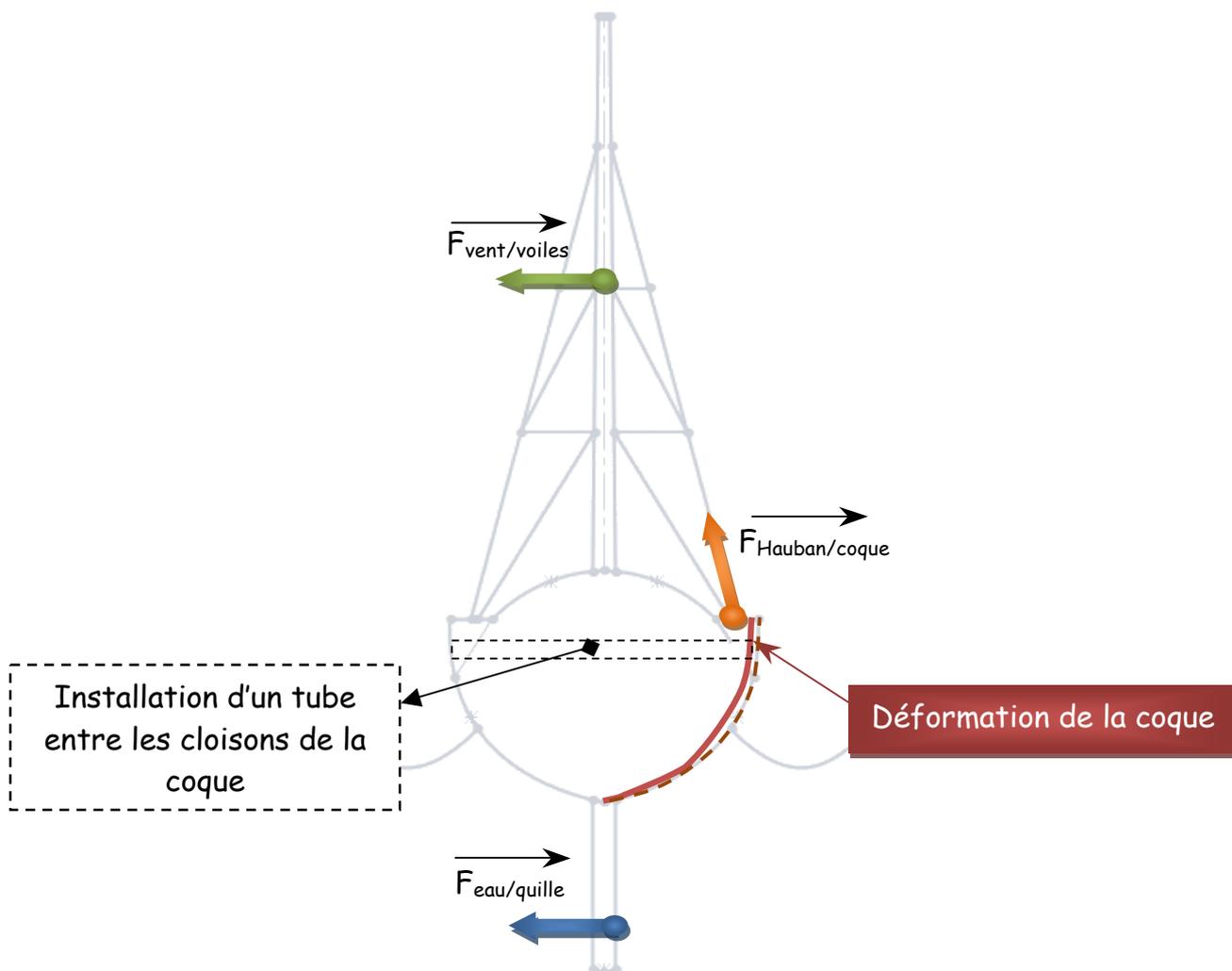
Tube carbone

Zone fixation
Cadène



Sur les monocoques, afin de rigidifier cet ensemble, on a souvent recours à une barre de renfort transversale, disposée dans la largeur du voilier, jouant le rôle de barre anti-rapprochement. Sur les voiliers de compétition, la barre est constituée d'un tube en fibre de carbone, pour des raisons évidentes de rapport rigidité/poids.

Illustration simplifiée des actions mécaniques



I. Cahier des charges

L'objectif principal de cette étude est de gagner en rapport rigidité/poids sur la liaison (équerre) de la barre et les cadènes liées à la coque du bateau.

I.1. Cahier des charges du point de vue mécanique

Pour les forces ci-après le repère est choisi avec :

X : axe de la coque

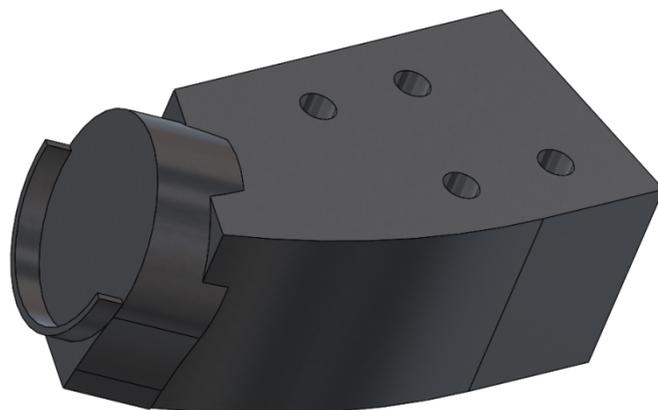
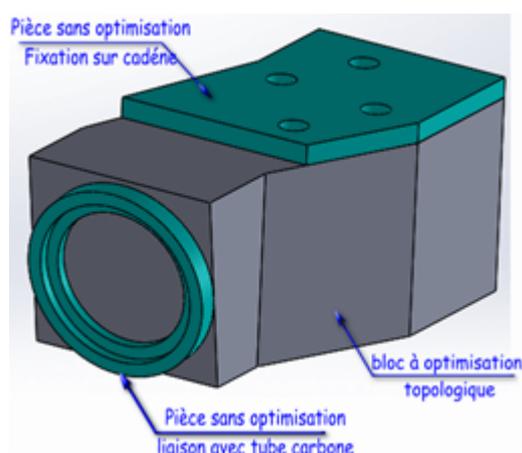
Y : direction perpendiculaire à la direction de coque

Z : l'axe vertical, soit l'axe du mât.

Liaison	Mise en position	Maintien en position	Conditions limites pour la simulation	
			Efforts extérieurs	Déplacements imposés
Liaison Equerre-barre de renfort	Centrage court de diamètre 80mm, ponctuelle de direction transversale à la coque (Y)	Bride de serrage de diamètre 80mm (plus jeu fonctionnel)	Force répartie de 2000N suivant la normale à la face d'appui du tube carbone (Y)	
Liaison Equerre - coque	Appui plan	4 vis dans perçage de diamètre 14mm		Appui plan sur la face inférieure et pivot dans les passages de vis

I.2. Dimensions et interfaces coque-pièce, pièce-barre de renfort

L'encombrement général de l'équerre doit s'inscrire dans le volume de la pièce fixé par la place à notre disposition dans la zone de fixation de cette équerre. La modélisation cubique est réalisée sur modèleur volumique, plusieurs propositions de modélisation possibles (voir ci-dessous). La présentation sur logiciel d'optimisation topologique Inspire est réalisée à partir d'une forme basique de la pièce.



Le tube en carbone rigidifiant la coque a pour diamètre extérieur 80mm et pour diamètre intérieur 74mm.

Le montage devra être facilité ; une attention particulière sera portée à l'accessibilité aux éléments de maintien en position (écrou, collier de serrage...) Les interfaces sont détaillées dans le paragraphe précédent.

I.3. Matériaux et procédés

Les matériaux doivent résister aux attaques de l'environnement marin.

La complexité de la pièce, comme sa faible production, exige le recours à un procédé de fabrication additive. Le seul procédé et matériaux envisageables ainsi que leurs coûts respectifs sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Procédé	Matières
SLM : Fusion poudre métallique	Acier
	Aluminium
	Inconel
	Titane

Matériau retenu pour l'étude : **titane**

I.4. Design

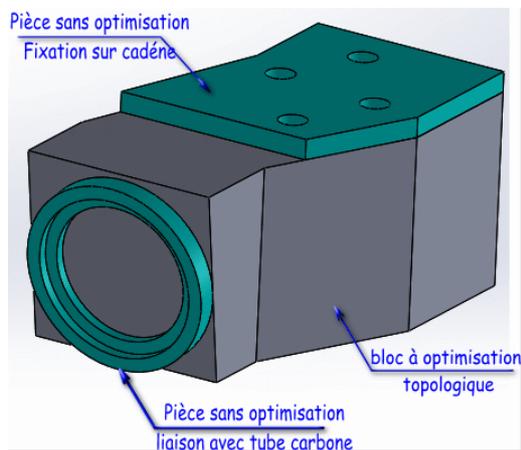
Une attention particulière doit être portée à la forme de la pièce et à son design. L'intégration de celle-ci dans le voilier et dans l'environnement marin en général est également un point important.

II. Méthodologie

L'optimisation de la géométrie de la pièce s'appuie sur l'utilisation du logiciel d'optimisation topologique INSPIRE et la finalisation de la pièce sur modelleur volumique.

II.1. Logiciel d'optimisation Inspire

La base de la conception est conçue sur un modelleur volumique (SW ou CATIA V5) et le modèle 3D est enregistré au format « step ».

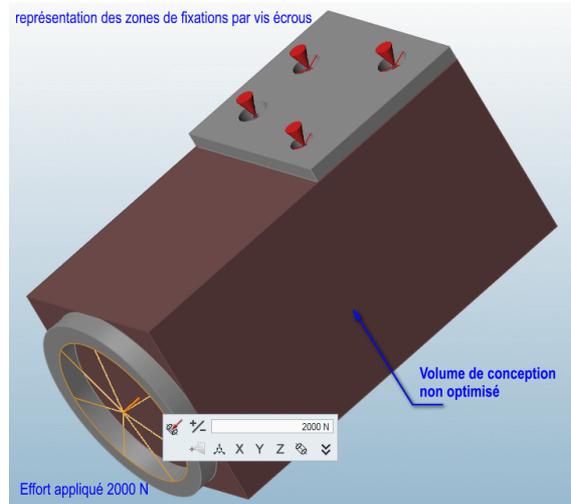


L'importation de l'assemblage dans Inspire permet :

- **De distinguer :**
 - Les éléments à exclure de l'étude d'optimisation.
 - L'élément d'étude appelé « **espace de conception** ».

Image modèle au format Step à partir de SW

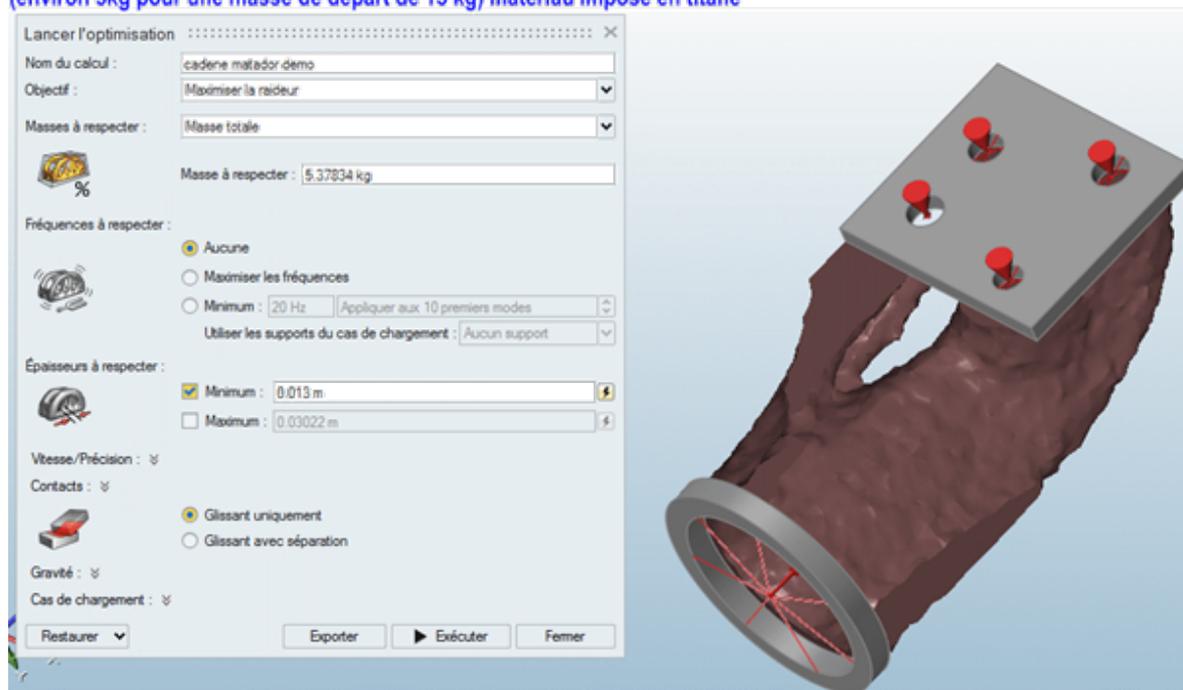
- **Et d'appliquer les chargements externes et les géométries fixes.**



Plusieurs solutions d'optimisation topologique :

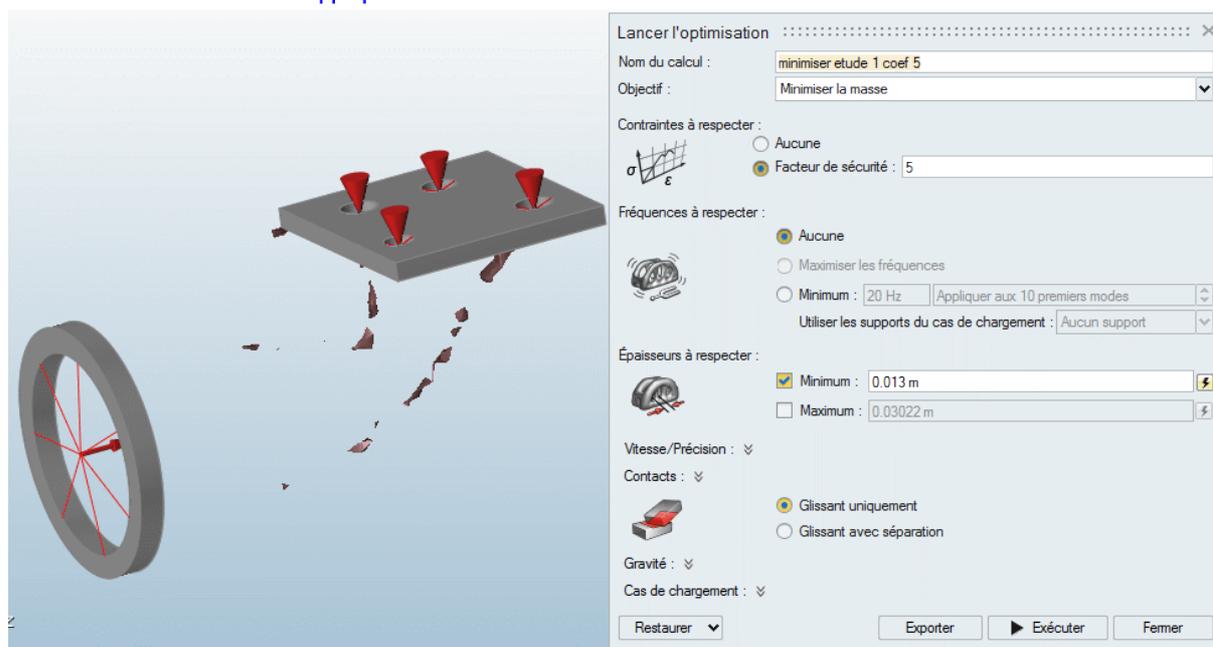
- 1- en effectuant un calcul de maximum de raideur à partir d'une masse de matière imposée.

Maximisation de la raideur en imposant 30% de la masse
(environ 5kg pour une masse de départ de 15 kg) matériau imposé en titane



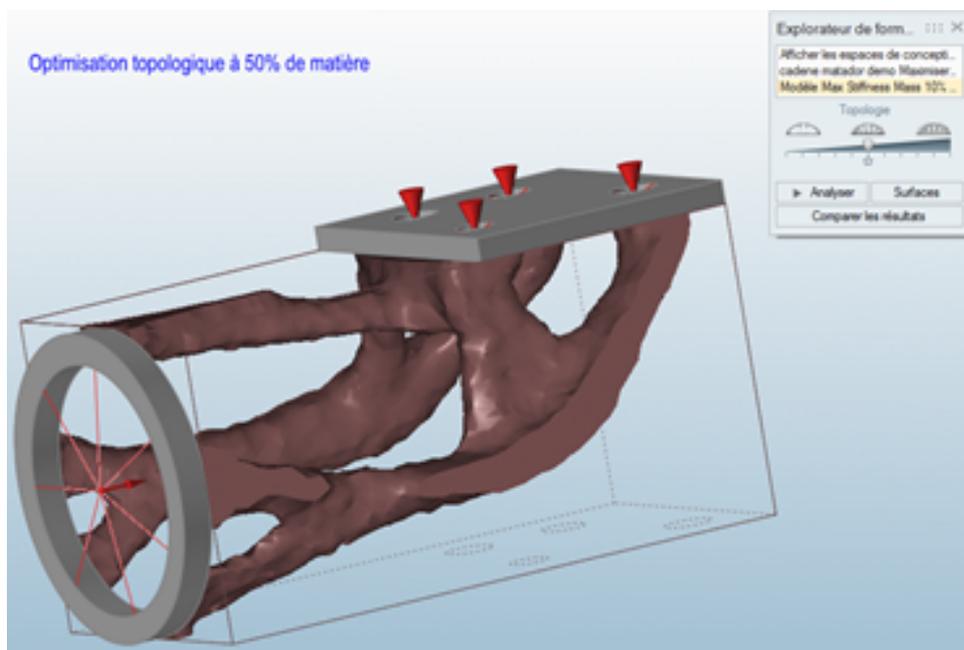
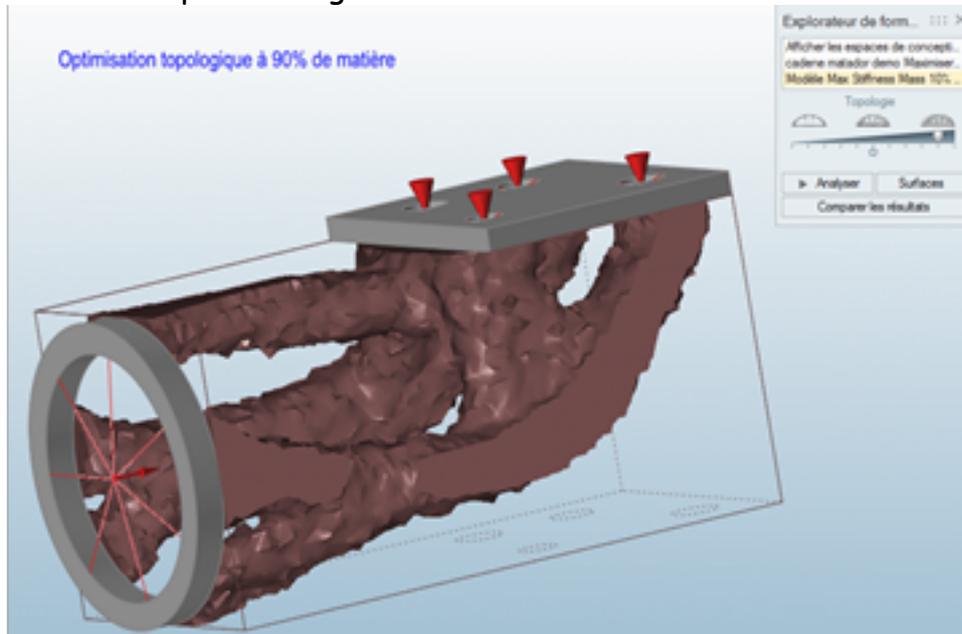
- 2- en minimisant la masse en tenant compte d'un coefficient de sécurité minimal. Cette méthode ne présente pas beaucoup d'intérêt en ce sens qu'elle ne montre que les zones de matière présentant le coefficient de sécurité choisi.

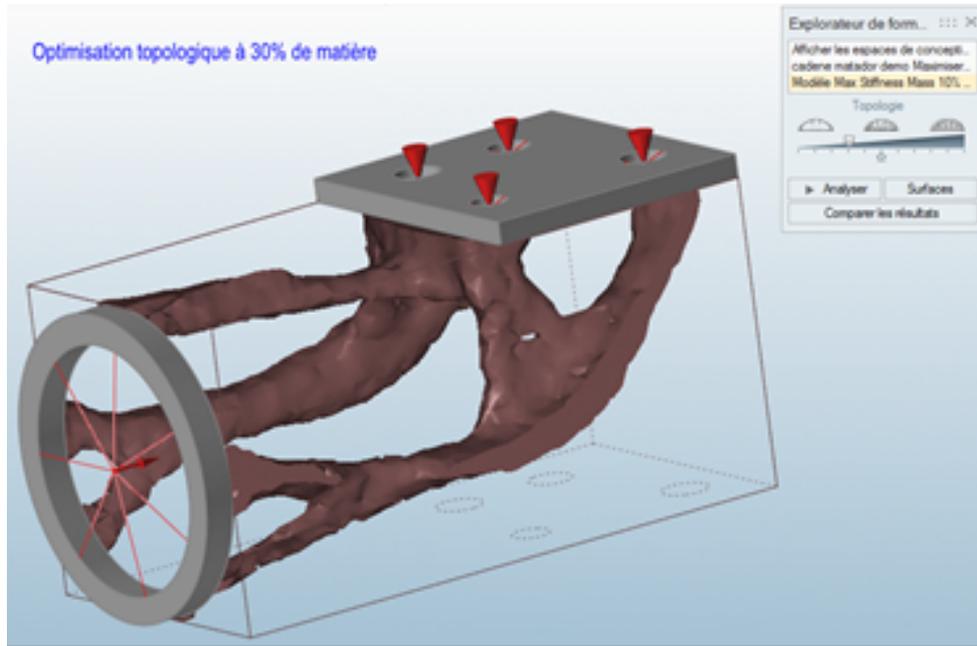
Minimisation de la masse en appliquant un coefficient de sécurité



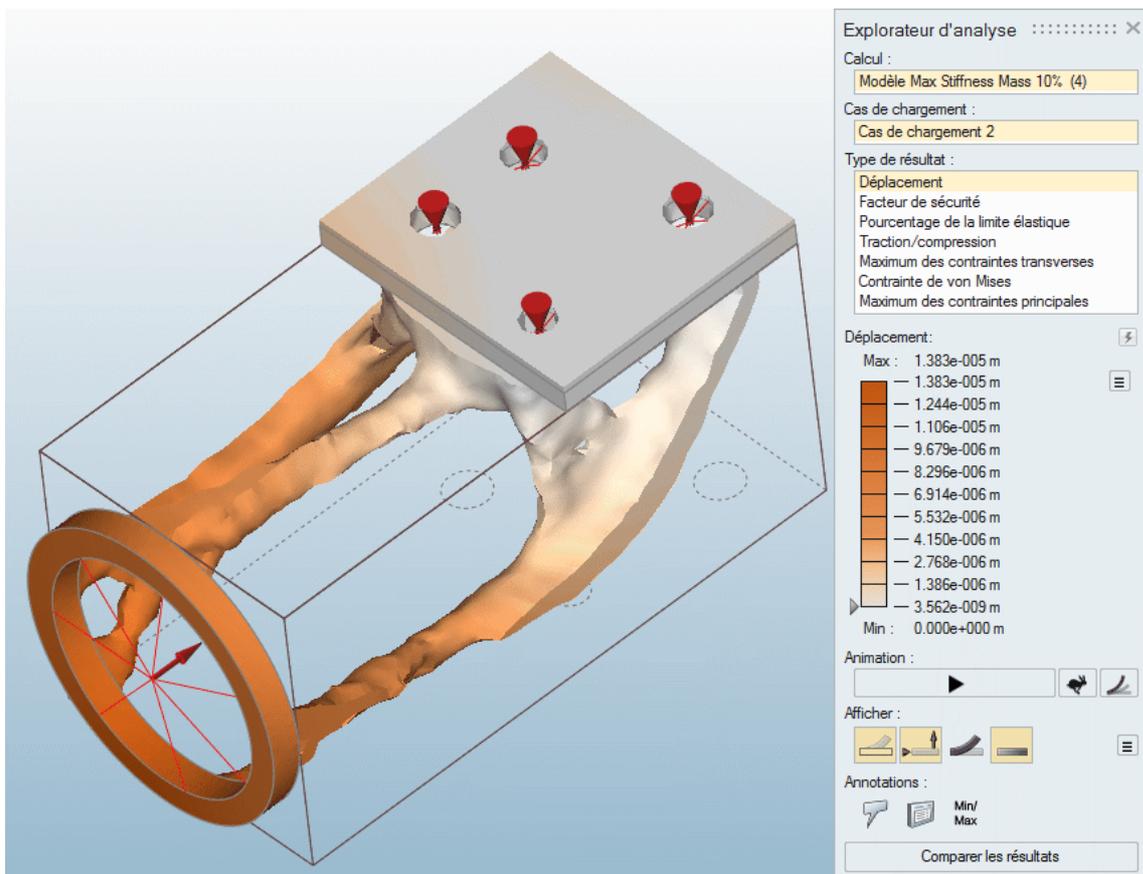
3- en choisissant le pourcentage de volume de matière à conserver (30% par défaut).

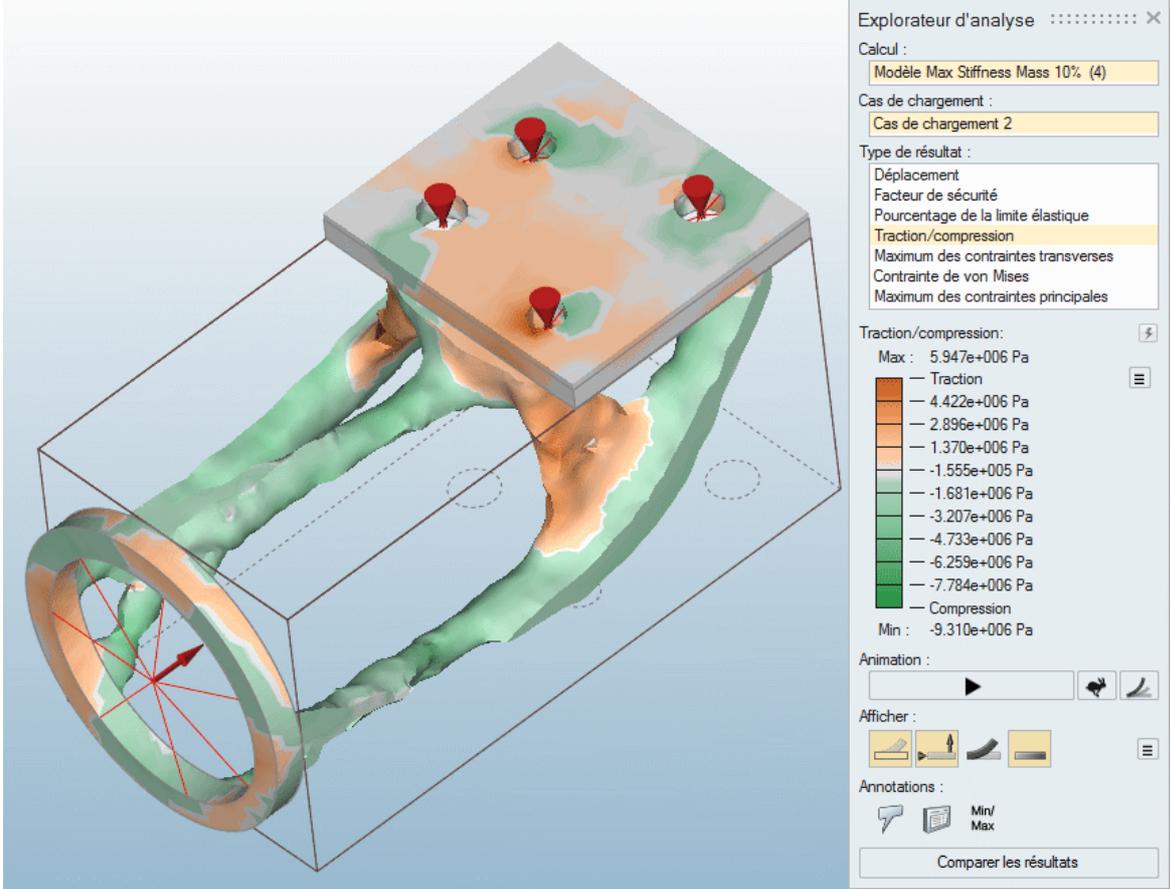
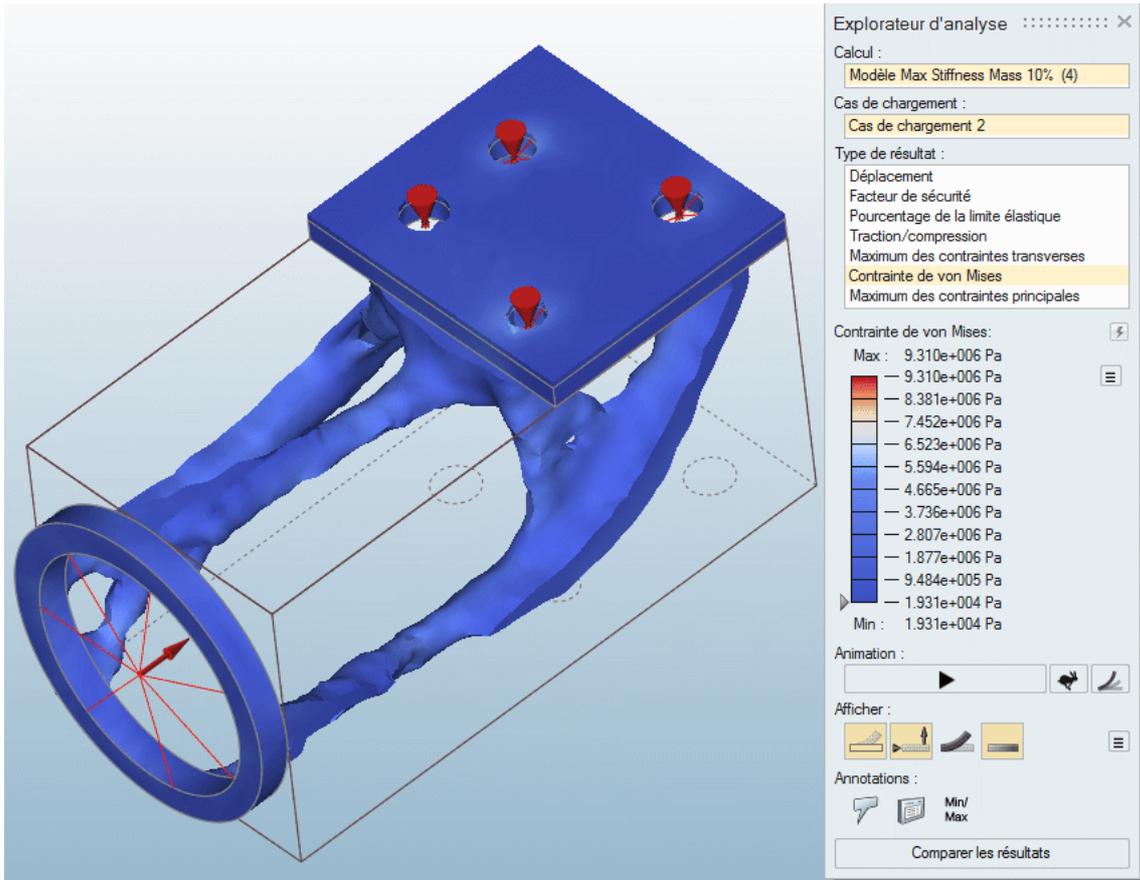
Il convient à ce stade d'analyser les déplacements et les contraintes mécaniques (traction-compression, Von Mises) pour valider ou invalider le choix du pourcentage.



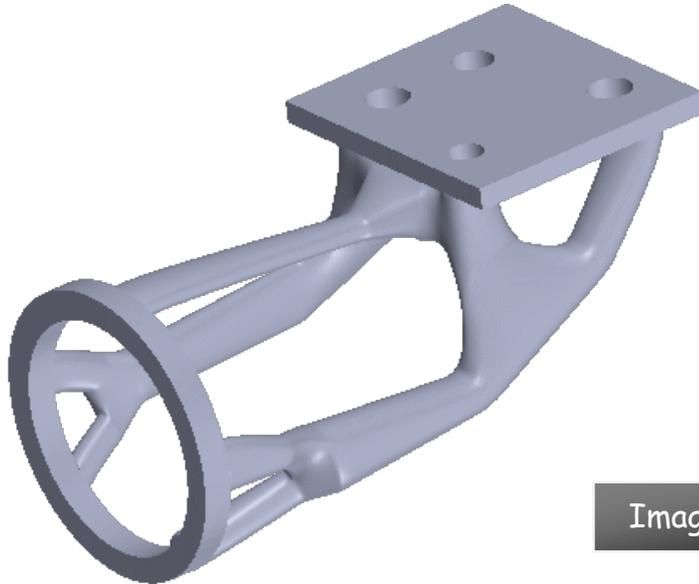


Dans le cas de cette étude, le choix de 30% de matière a été validé après vérifications des contraintes et déplacements.





Le logiciel Inspire propose une solution d'optimisation topologique sous forme d'un volume de matière brute qu'il est nécessaire de lisser par une enveloppe (outil « Polynurbs » toujours dans Inspire). Ce modèle sert de base à une reconception de la pièce sous modelleur volumique pour finaliser ses formes en fonction du procédé de fabrication (fabrication additive dans notre cas). Une validation des formes par une étude de simulation mécanique doit permettre de corroborer les résultats prévus par Inspire.



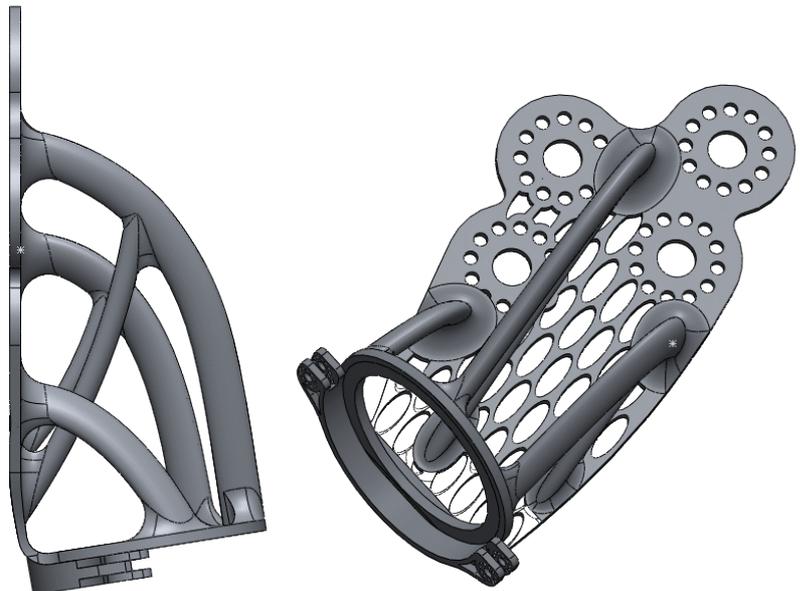
Un des modèles optimisés.

Image « Polynurbs »

II-2. Optimisation du modèle sous Solidworks

A partir de la version la plus intéressante d'Inspire, et avec l'aide de M. Clément BARRET du département R&D de la société « Volum-e », le modèle a été modifié sous modelleur volumique SW en prenant en compte :

- Le matériau choisi : titane
- Le procédé de fabrication : impression 3D métal
- Les formes permettant de limiter les supports, la pièce étant fabriquée verticalement: ajourages elliptiques.

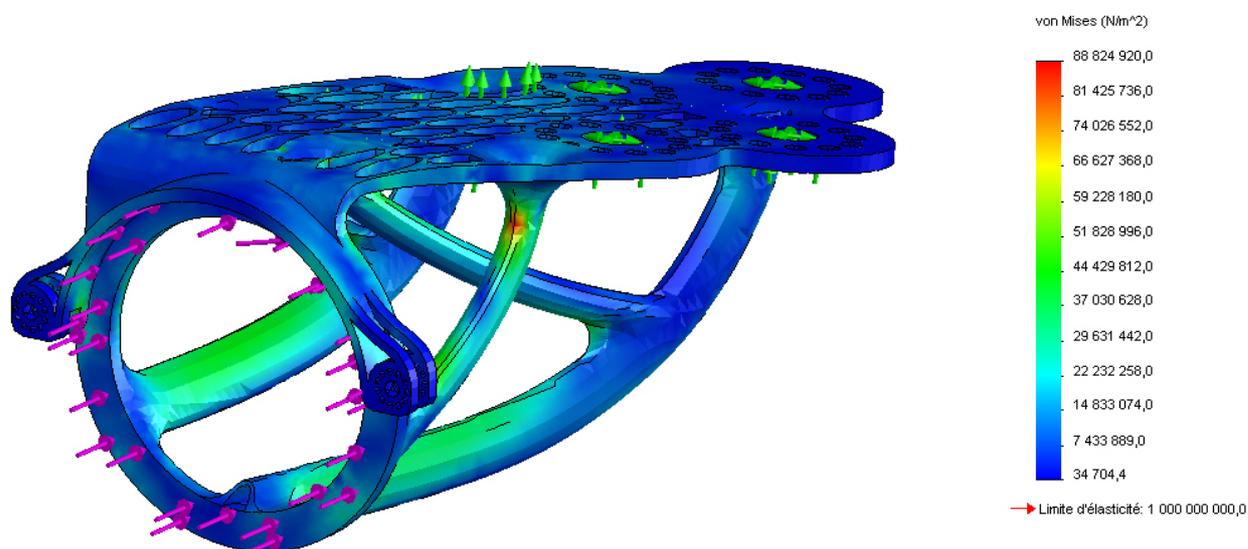


Plateau Machine

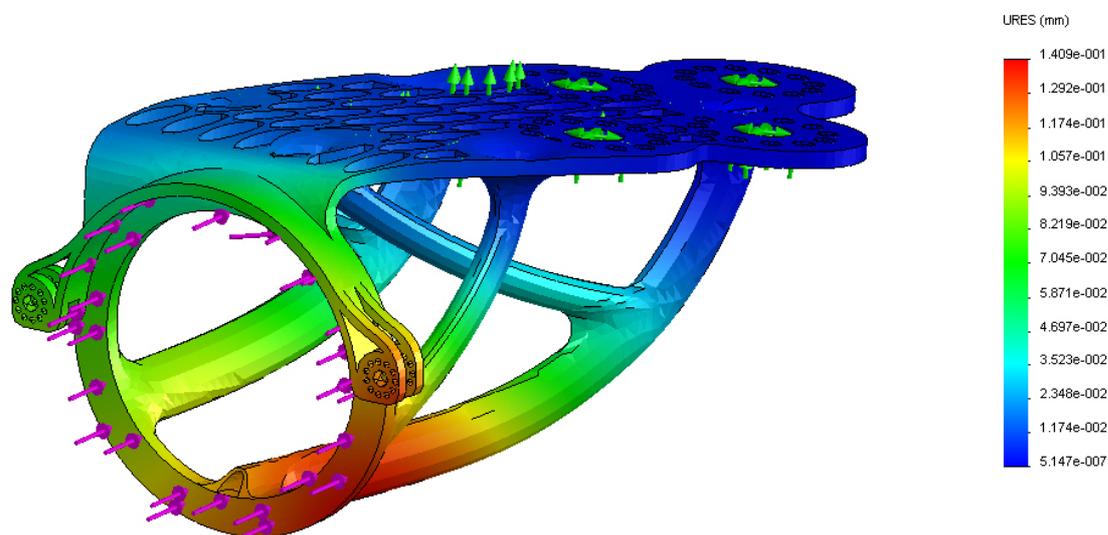
II-2.1 Les résultats de la simulation mécanique sous Solidworks

Confrontation des résultats / au logiciel Inspire.

La contrainte maximale est largement inférieure à la limite élastique du matériau choisi « **Titane** ».



La valeur du déplacement est de 0.14mm à l'endroit le plus sollicité.



III-3. La réalisation des pièces par fusion poudre métallique procédé SLM

Les pièces fabriquées en après son optimisation topologique, elles ont été réalisées par la société « Volum-e » à Blangy/Bresle. Elles ont été fabriquées en plusieurs versions matériau (Inconel, colbat chrome, titane, aluminium), le plateau présenté ci-dessous le matériau utilisé est de l'Aluminium, les pièces en titane ont été montées sur le bateau. (Voir ci-dessous)



Les pièces en titane en situation sur le bateau, boulonnées sur la cadène et liées par emboîtement pincé à la barre de renfort transversal (tube carbone)

