

Mise en situation :

Dans le cadre de l'épreuve de Prototypage et industrialisation des produits (U61) en BTS CPI, un projet de prototypage doit être proposé aux étudiants en fin de 1^{ère} année.

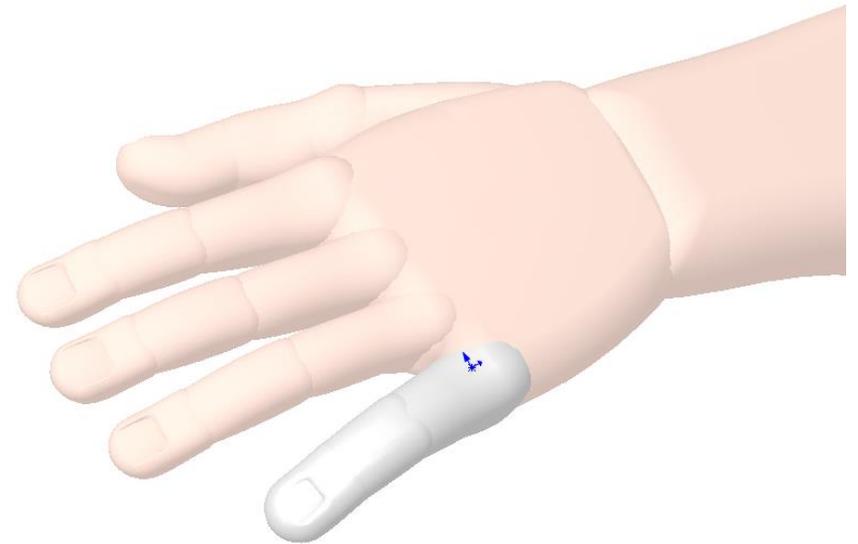
L'objectif de cette épreuve est de permettre à l'étudiant, dans le cadre d'une conception, de valider cette dernière en l'intégrant dans une boucle de conception par itérations successives. La réalisation d'un prototype est demandée. Enfin, une activité d'essai est souhaitée, permettant la validation des différents prototypes en adéquation avec le contenu du cahier des charges. Cette épreuve est prévue sous la forme de CCF, d'une durée de 20 h en fin de 1^{ère} année.

Nous avons souhaité trouver une problématique en lien avec nos moyens matériels de prototypage, ainsi que du temps « disponible » de réalisation, sans forcément solliciter des moyens extérieurs.

- Utilisation d'imprimantes 3D pour séquence prototypage.
- Matériau type PLA ou ABS.
- Conception de pièces de petites dimensions : temps d'impression réduits / Plusieurs prototypes.
- Assemblages simplifiés si nécessaire.

L'idée : L'étude d'une attelle pour l'auriculaire d'une main.

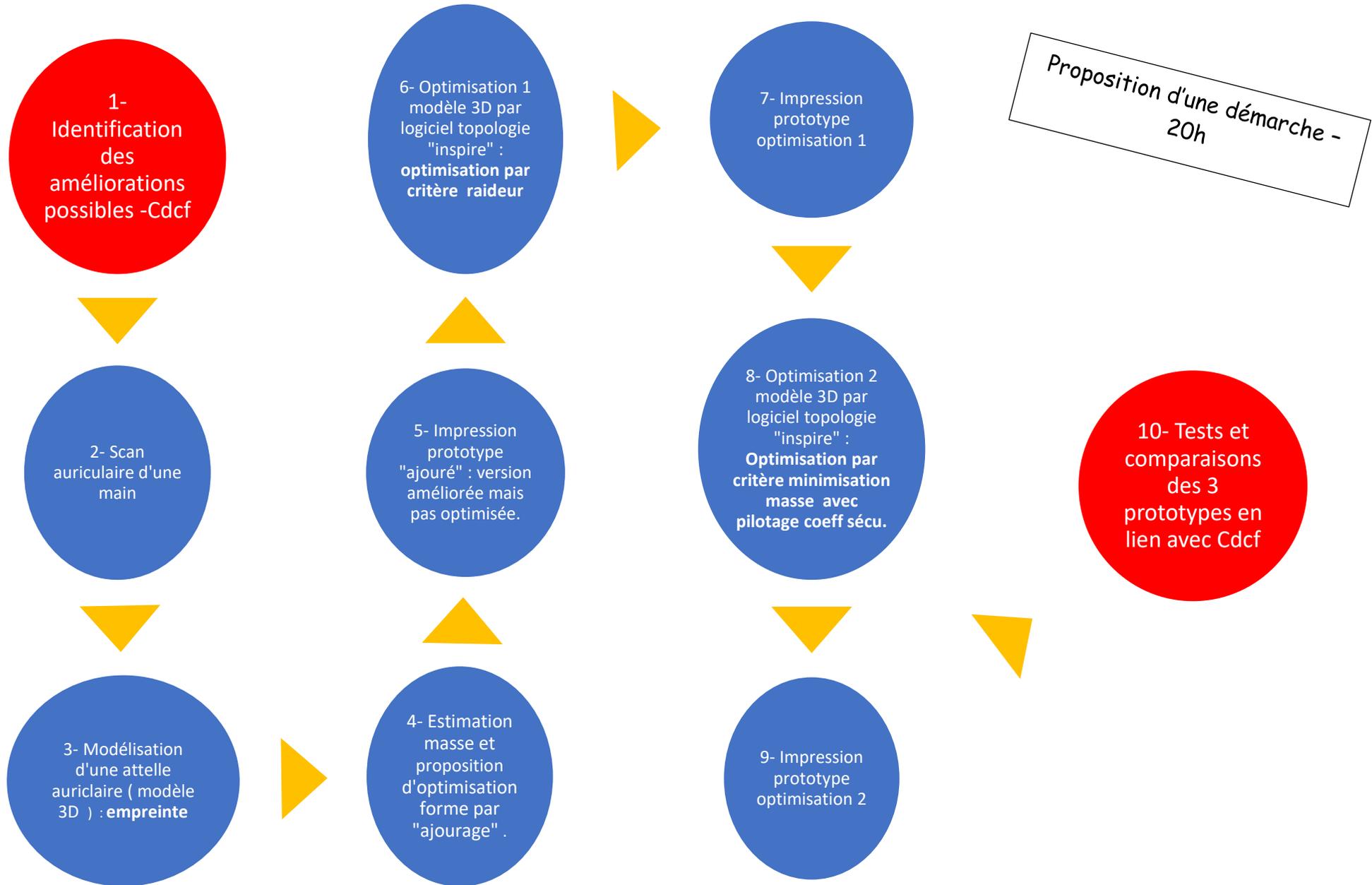
L'idée de base étant, à partir de moyens modernes, scanner au mieux la main puis imprimer une attelle ergonomiquement parfaite, légère et peu gênante (nous disposons d'un scanner portable 3D, Logiciel modeleur 3D et imprimantes 3D par dépôt de fil).



Actuellement, il existe de nombreux modèles (liste non exhaustive) :

Différents matériaux, formes, « encombrement ».





Commentaires liés à la démarche proposée ainsi qu'aux résultats attendus :

La démarche par elle-même :

Etape 1 : Cdcf simplifié à compléter /questionnement quant aux modèles existants ainsi qu'aux défauts à corriger.

Etape 2 : Scanner un membre humain est assez difficile voire impossible avec notre scanner à main : Pour y « pallier », on peut fournir un modèle numérique 3D d'une main réaliste trouvée sur le site « grabcad ».

Etape 3 : Cette étape fait appel à des prérequis indispensables en termes de modélisation 3D (usage des commandes surfaciques du modeleur). Une aide de l'enseignant est nécessaire voire indispensable.

Etape 4 : Il est laissé une certaine liberté à l'élève pour « ajouter » son modèle : une impression 3D de la maquette permettra de s'interroger sur la pertinence ou non de ce type d'opération, sa localisation sur la maquette.

Etape 5 - 7- 9 : une initiation à l'impression 3d est nécessaire afin de laisser une autonomie à l'élève quant au choix de l'orientation de l'impression ainsi qu'aux réglages des paramètres de l'imprimante.

Etape 6-8 : Le logiciel de topologie « inspire » nécessite une prise en main pouvant se faire à l'aide des tutoriaux proposés. Néanmoins, la réalisation d'une fiche de « guidance » simplifiée (relative aux outils « structure ») permettrait un gain de temps évident : Il est préconisé que les étudiants importent leur modèle numérique de base déjà fait sous « Solidworks ».

Intérêt utilisation logiciel conception/optimisation Topologique Inspire :

Découvrir un logiciel complémentaire au modelleur 3D actuel. Ce logiciel Topologique permettant d'optimiser au mieux les formes/ les zones choisies (espaces de conception) en fonction des critères d'optimisations :

- ❖ Optimisation en Maximisant la raideur (en limitant une masse minimale de l'espace de conception)
- ❖ Optimisation en Minimisant la masse (en jouant sur le facteur de sécurité)

Découverte logiciel :

A travers les tutoriels : https://solidthinking.com/help/Inspire/2017/win/fr_fr/index.html?tutorials.htm

Avis personnel usage Tutoriels :

- Nombreux tutoriels
- Approche modélisation pas facile : très différente du modelleur utilisé par nos élèves à notre sens.
- Initiation très chronophage.

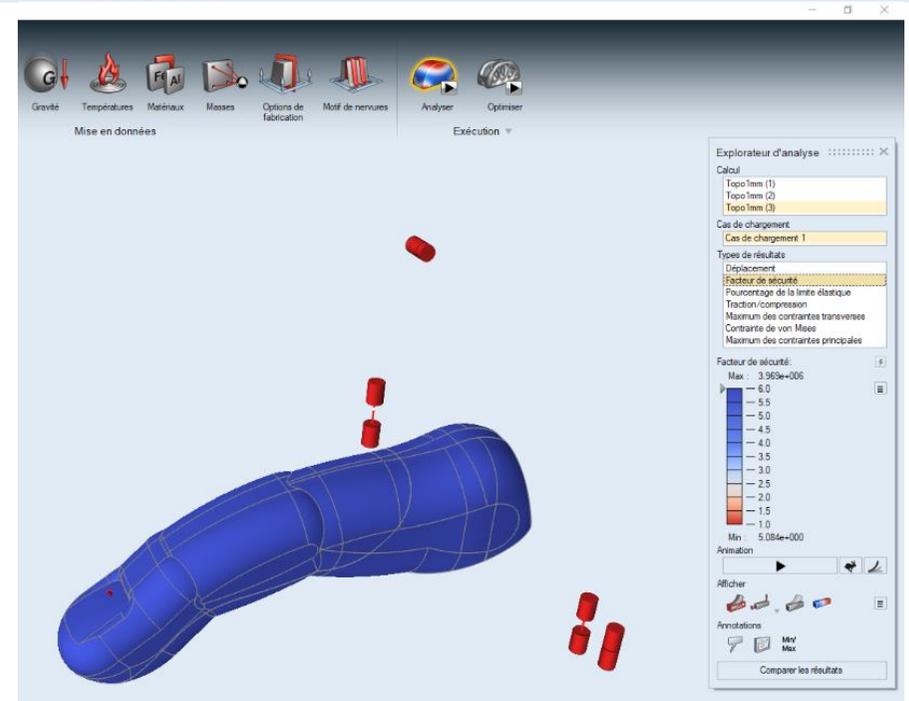
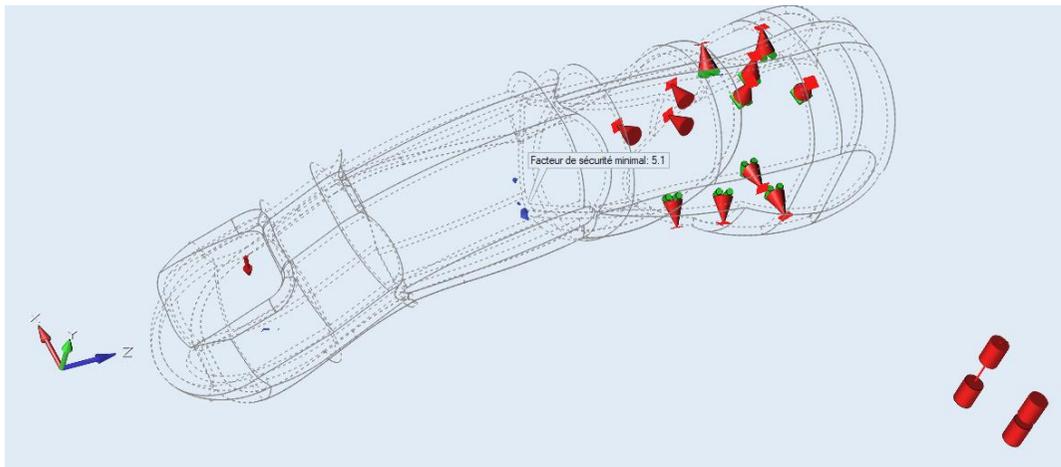
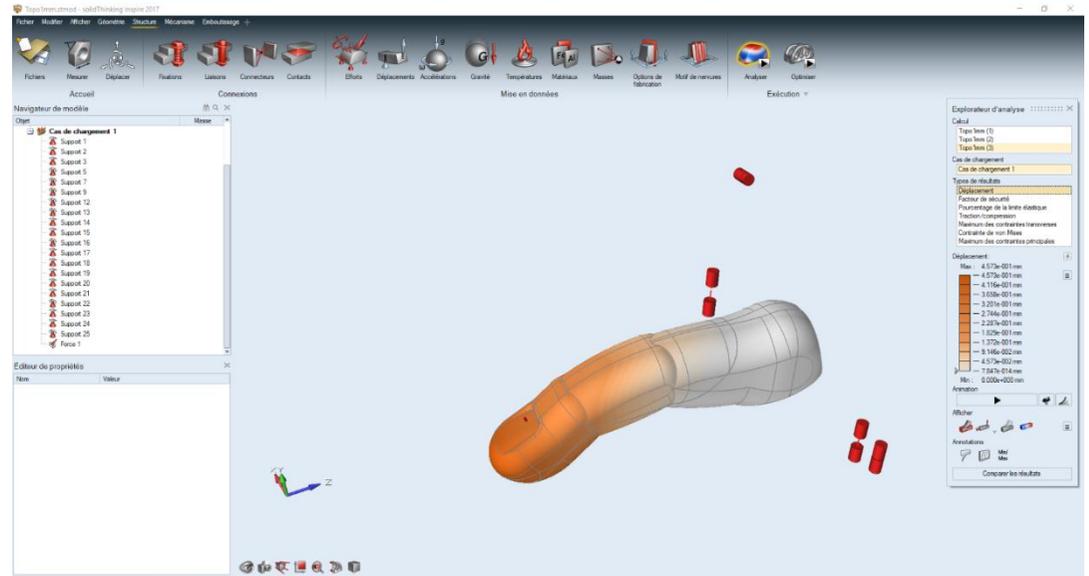
Objectifs utilisation logiciel avec épreuve prototypage :

En 1^{ère} année BTS CPI, l'intérêt d'un tel logiciel se porte principalement sur le gain en termes de masse de la pièce à optimiser : Aussi, le choix entre les deux méthodes d'optimisation est à aborder avec prudence car l'étudiant, de par ses « compétences acquises en fin de 1^{ère} année », ne peut pas forcément se positionner facilement. Par contre, l'analyse des solutions trouvées ultérieurement (résultat analyse optimisations) peut amener à argumenter quant au choix de la méthode, par comparaison.

1. Analyse RDM attelle type « empreinte » :

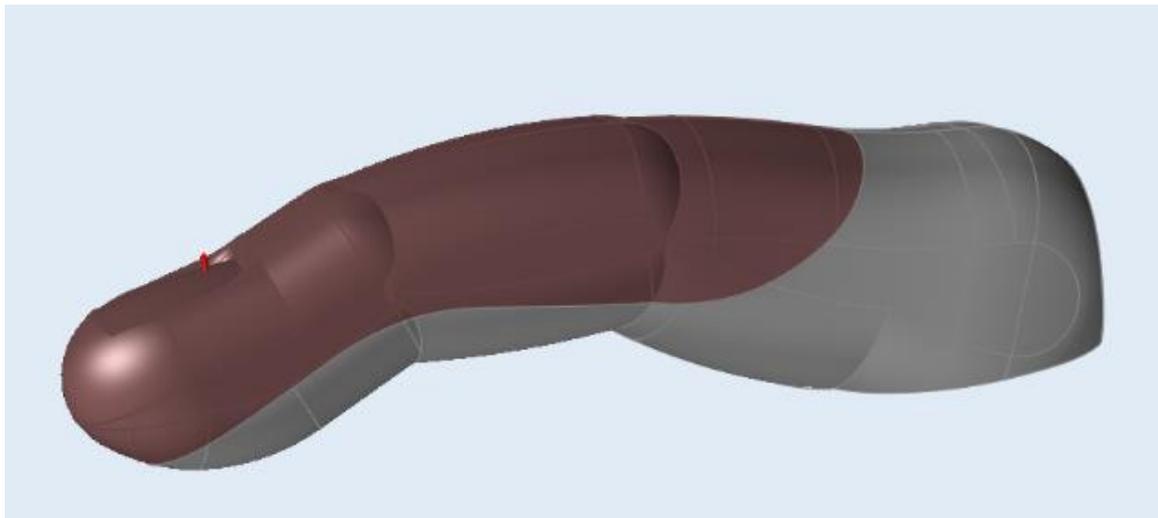
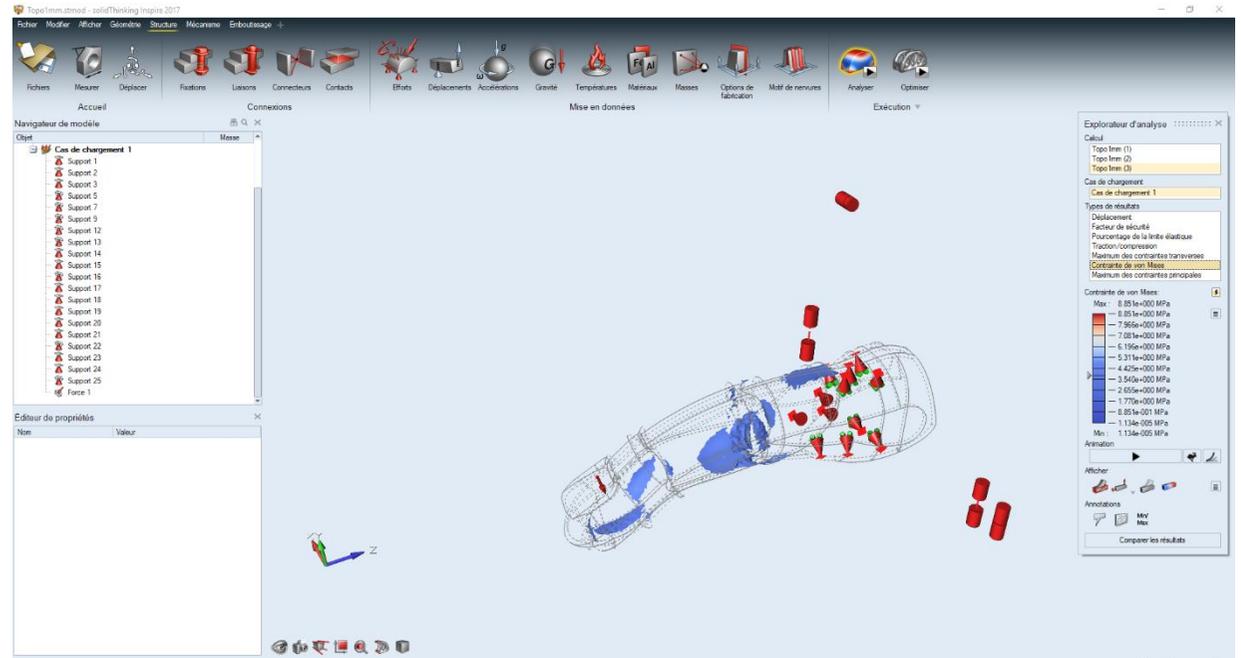
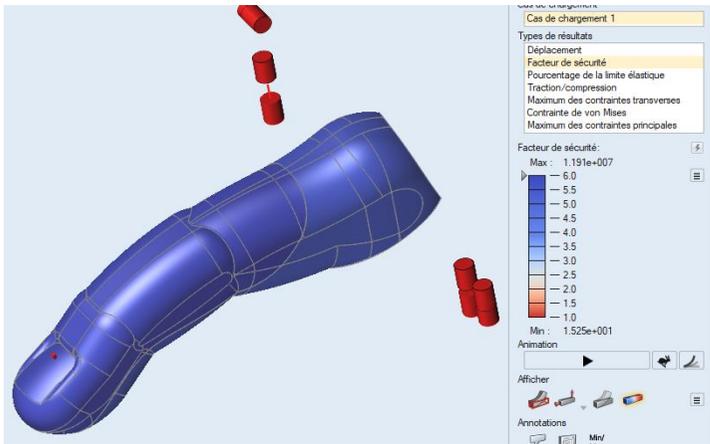
Observation: modèle initial complet, en ABS
Auriculaire supérieur et inférieur /Chargement 30 N en extrémité :

Coeff sécu mini : 5 jusqu'à
Contrainte van mises : min 0 Mpa à max 8.85 Mpa
Déplacement maxi en bout d'attelle : -0.45 mm vers bas
Masse de l'ensemble : 4.987 g. (en ABS)



Bilan Observation Globale - maquette « empreinte » :

Malgré le chargement important, on est « large » et on souhaite optimiser : Facteur de sécurité mini de 15 : gain en masse visé.

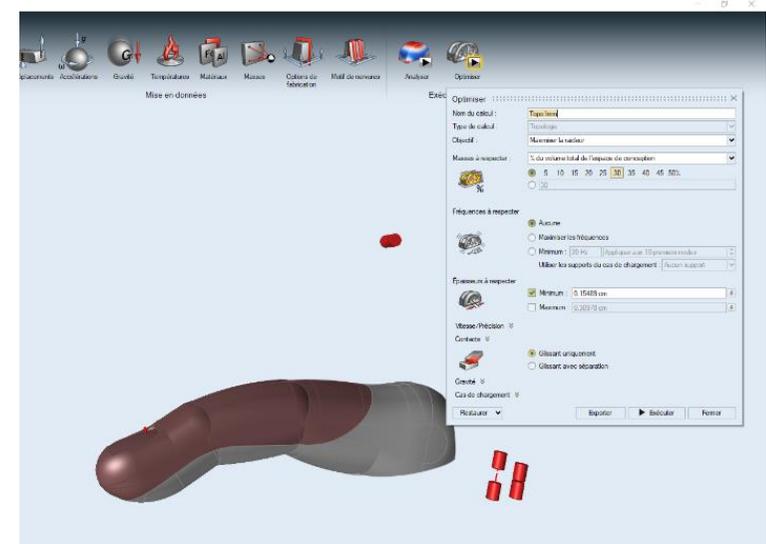


Aussi, d'un point de vue fonctionnel, cette attelle peut comporter deux parties :

Partie inférieure (en gris) : rôle principal (mise en position du doigt) : on n'y touche pas

Partie supérieure (en Bordeau) : rôle secondaire : on peut optimiser : **espace de conception.**

2. Optimisation 1 de la partie supérieure : « maximiser la raideur »

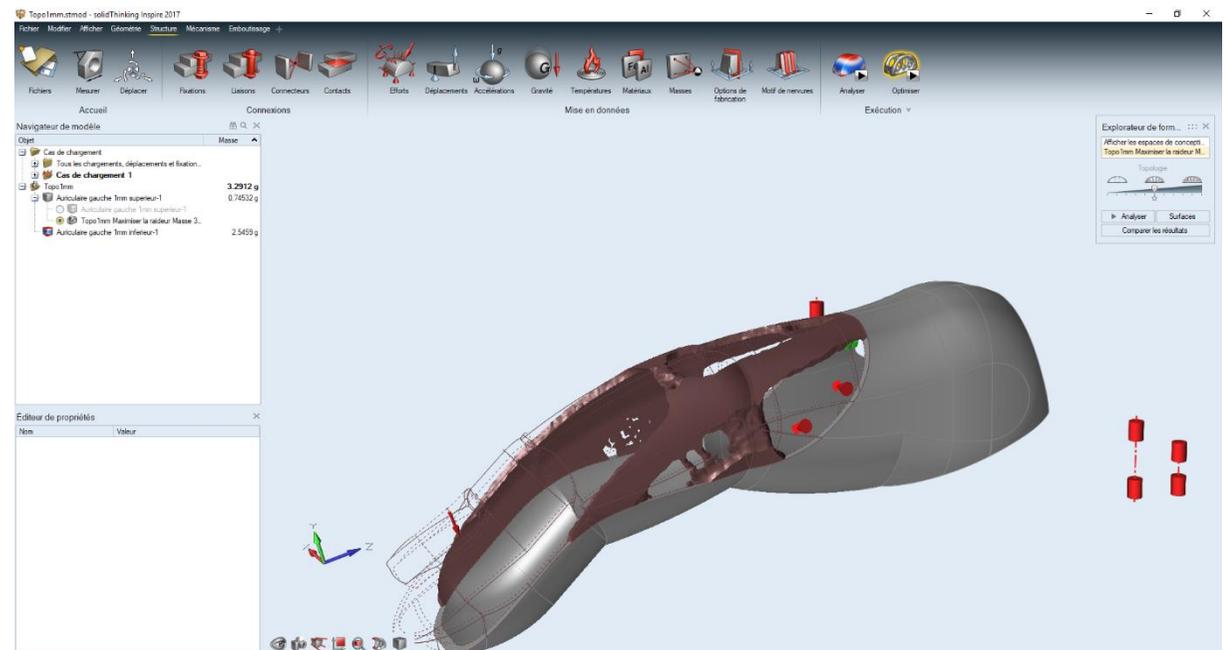


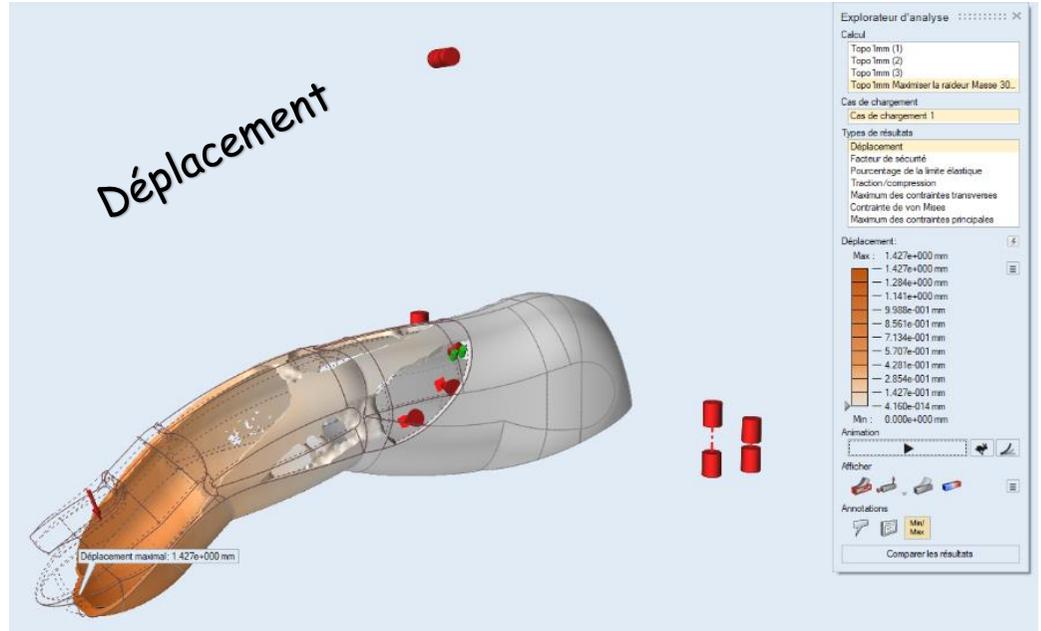
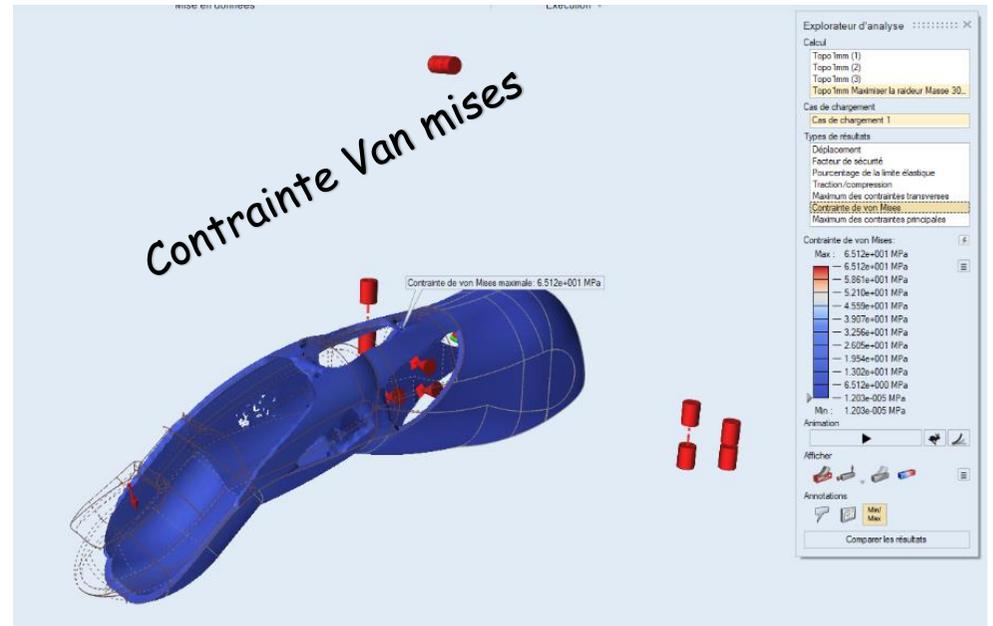
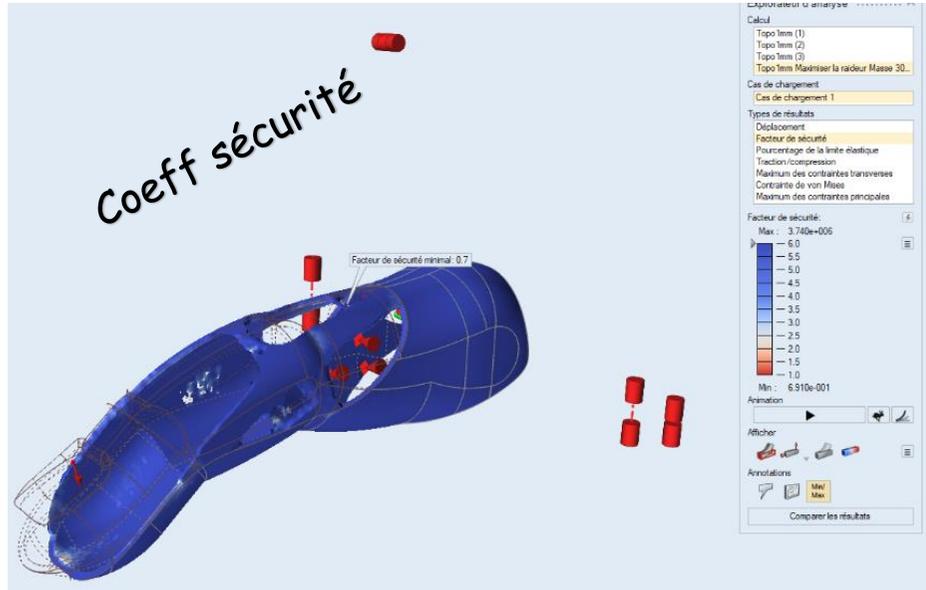
Résultat de cette optimisation : maximiser la raideur en respectant 30 % de l'espace de conception :

Bilan optimisation 1 : « maximiser la raideur » :

Effectivement, la masse de la partie supérieure est divisée par 3 (les 30 % à conserver).

Concernant la raideur, l'analyse de l'optimisation faite permet d'économiser la masse de la partie supérieure en limitant au mieux le déplacement maxi : ici **-1.42 mm** (ci-dessous)

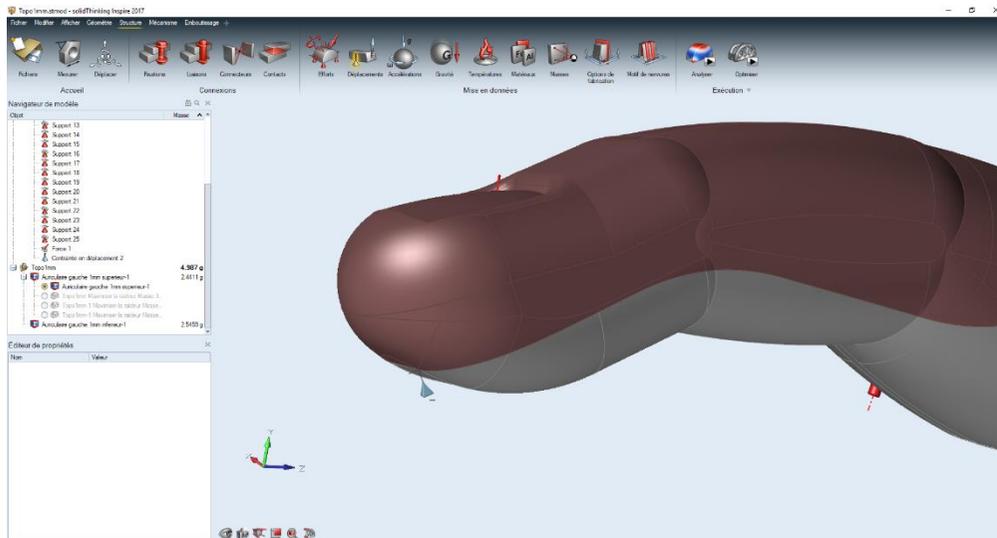




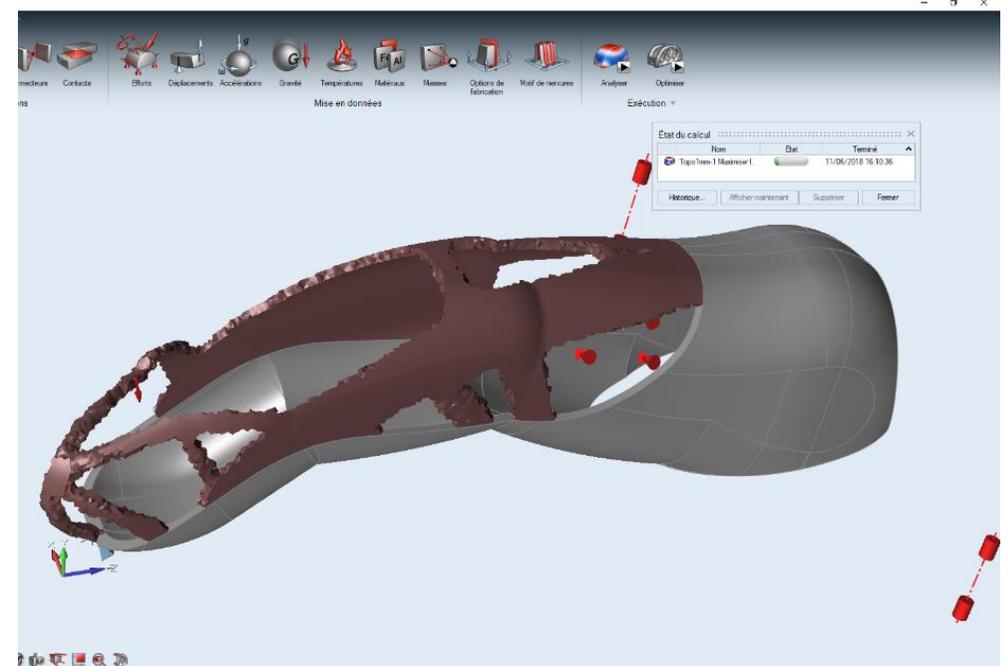
Résultats optimisation 1 :

- Coeff de sécurité mini
- Contraintes van mises
- Déplacement

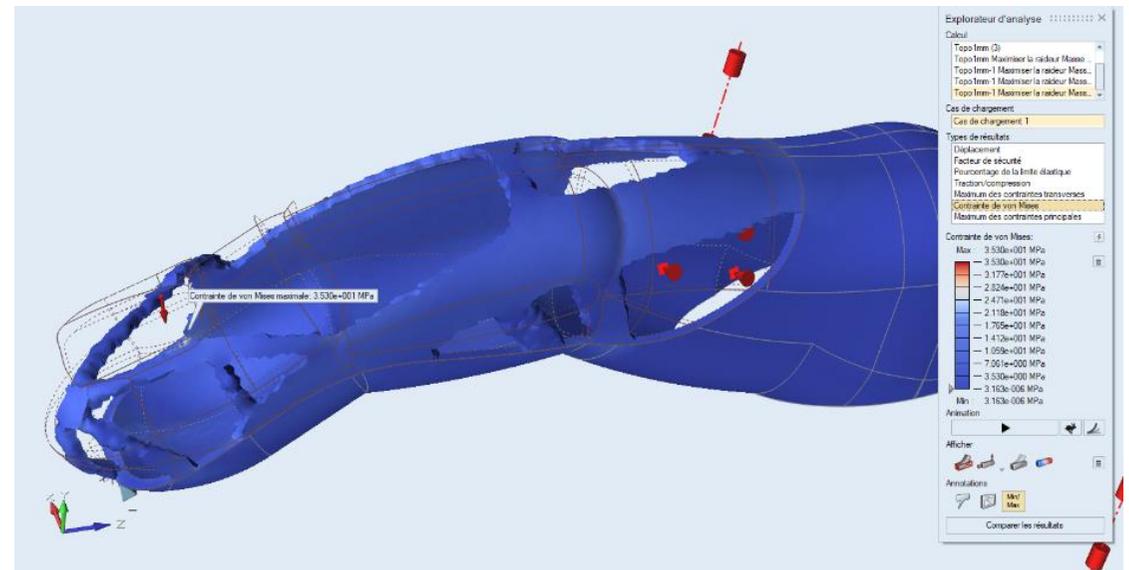
Cependant, si l'on souhaite limiter ce déplacement tout en optimisant la raideur pour un maxi de 30% en masse de la partie supérieure, on peut modifier à nouveau notre modélisation et imposer un déplacement maxi de l'extrémité du doigt à -1 mm par ex (inférieur à celui trouvé précédemment mais avec la même optimisation en masse de la partie supérieure : le logiciel « agencant différemment les renforts ». Attention à observer la contrainte de van mises maxi....



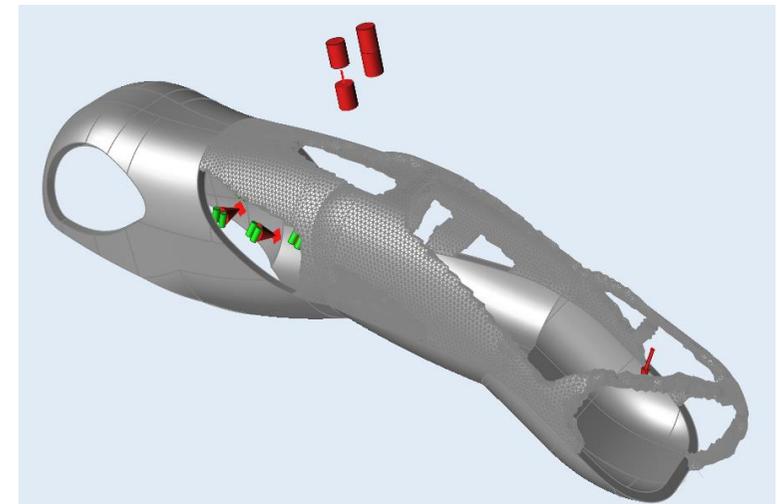
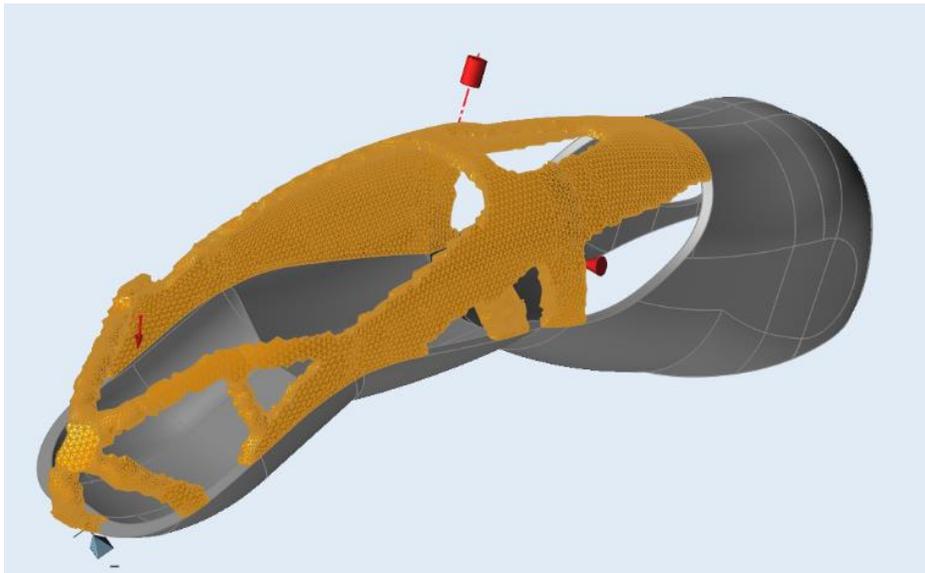
Résultats :



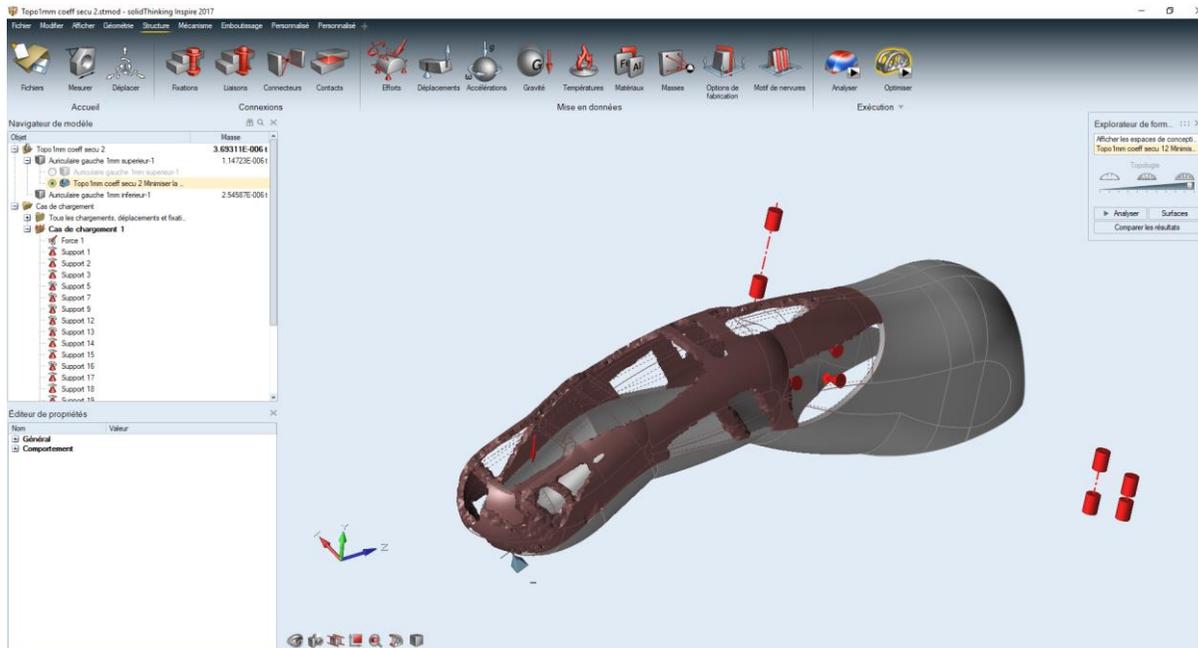
La masse de la partie supérieure passe à **0.98 g** mais la contrainte de von mises maxi monte à **35 Mpa**
Masse ensemble : **3.53 g**



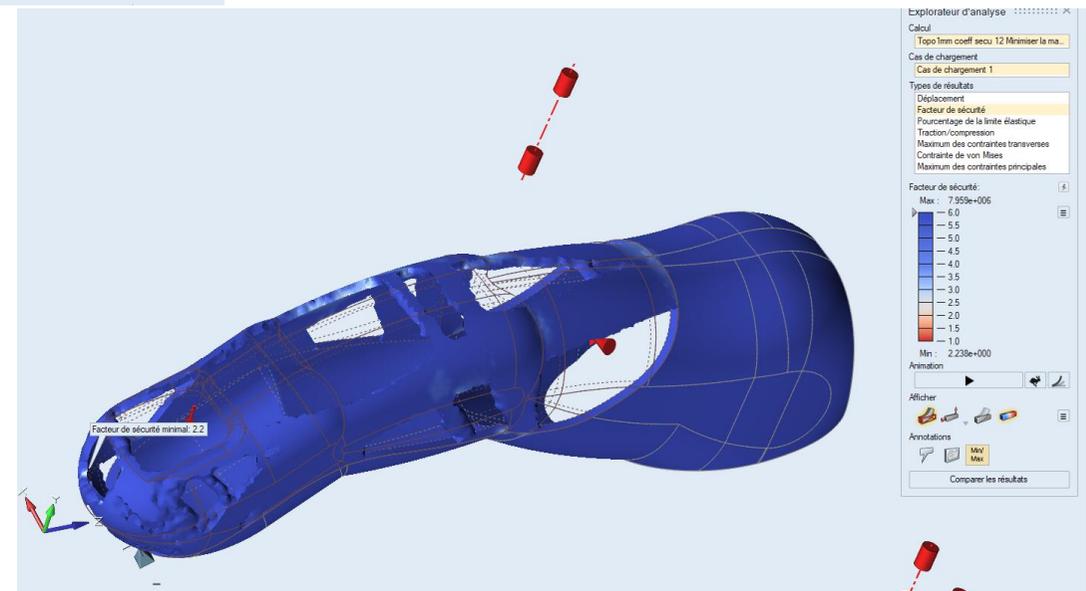
Bien sûr, si ce résultat est validé, on peut demander un « maillage » du modèle proposé. Par la suite, le lissage peut être effectué (grâce à l'outil polyNURBS) et exporté au format d'impression.



3. Optimisation 2 de la partie supérieure : « minimiser la masse en modifiant le coefficient de sécurité : coeff 2 »

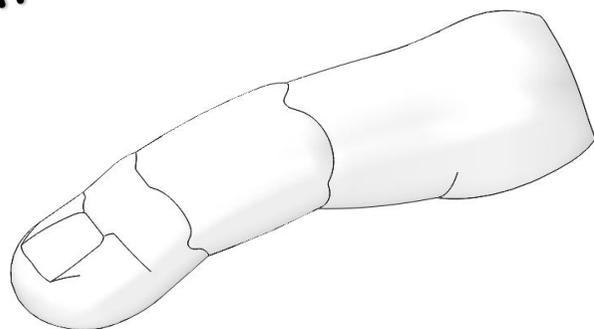


Coeff sécu mini : 2
Contrainte van mises : min 0 Mpa à max 20.1 Mpa
Déplacement imposé : -1 mm selon méthode précédente
Masse de l'ensemble : **3.579 g (en ABS)**
Dont masse partie supérieure : 1.03 g

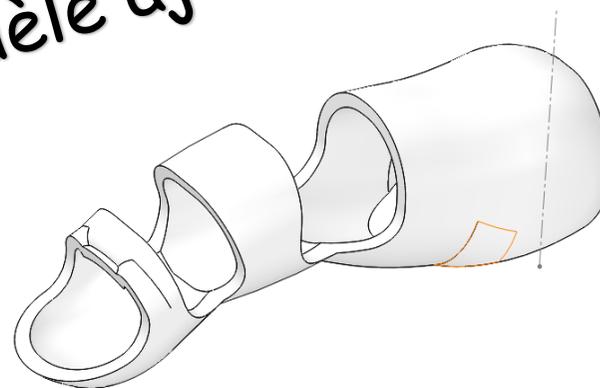


Bien sûr, ces deux optimisations donnent lieu à chaque fois à l'impression 3D d'un prototype permettant de vérifier et de valider le modèle numérique (modèle avec **support**).

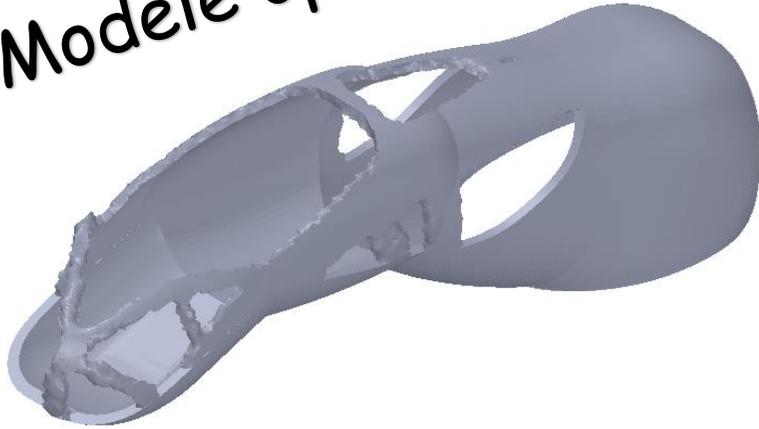
Modèle initial



Modèle ajouré



Modèle optimisation 1

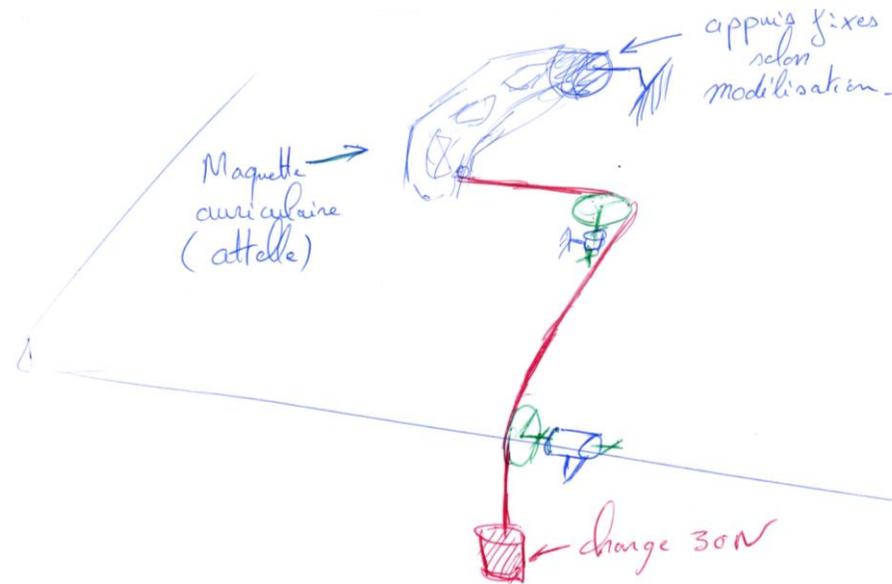


Modèle optimisation 2



Le critère initial doit être bien sur validé : résistance mécanique sous l'effet d'un chargement vertical de 30 N en bout d'attelle : déplacement maxi de 1 mm (au point relevé sur maquette).

Un test « physique » peut être effectué pour chacun de ces deux modèles : à mettre en œuvre par l'élève



- La vérification des caractéristiques de masse des différents modèles peut être faite.
- La critique relative au procédé d'obtention : aspect général, dimensionnel, rugosité, enlèvement support.
- Enfin, en lien avec la finalité du produit, est-ce que cette attelle est confortable. (Choix du matériau à imprimer, contour géométrique défini, etc.).

4. Bilan utilisation logiciel « inspire » : usage CPI épreuve prototypage

Concernant la prise en main :

La prise en main de ce logiciel, si on choisit de « modéliser » sa maquette peut être long et difficile. Certes, les tutoriaux proposés sont nombreux mais à l'usage, l'importation de la modélisation déjà faite permet un gain de temps non négligeable, au regard du temps consacré à l'optimisation (sous réserve d'opter pour une bonne stratégie de modélisation : pièces à traiter initialement conçue sous forme d'assemblage).

Concernant la démarche utilisée/recommandée pour un CPI prototypage.

Ce logiciel permet de compléter/de prolonger la réflexion quant à la conception de pièce-mécanisme. Le souci d'optimisation en termes de masse permet à l'étudiant de réfléchir à la notion de matière, de répartition de cette dernière en lien avec la modélisation des actions mécaniques qui agissent sur cette pièce : cela est complémentaire au module « simulation » que l'on peut retrouver sous solidworks par exemple.

Concernant les temps de calculs :

Tout dépend de la machine ...De par notre expérience, les maquettes ci-dessus ont eues des temps de calculs en optimisation allant de 20 minutes à 40 minutes (prendre des précautions de préparation pour des optimisation en classe qui pourraient créer quelques flottements lors de la prise en main par les étudiants).

Concernant l'obtention d'une maquette optimisée « Brute »

Maquette à « lisser » : la maquette « brute » obtenue après optimisation peut être « lissée » par l'outil intégré (lissage surfaces) cependant, cela est très superficiel au regard de notre conception. L'utilisation de l'outil PolyNURBS peut s'avérer utile dans le cadre de pièces plutôt « volumiques » (voir tuto). Cependant, concernant l'application « attelle », cet outil semble peu adapté pour créer des volumes grâce à l'encadrement des formes « coques ». Peut-être que le transfert de notre fichier optimisé sous un autre format plus adapté permettrait de corriger ce problème (spécifique) , grâce à un autre logiciel.

Concernant la finalité : l'obtention d'un prototype « physique » manipulable :

Impression : Après la validation du modèle numérique optimisé (et lissé), l'impression des différents prototypes permet de mettre en évidence quelques difficultés propres à l'optimisation Topologique : Optimiser des pièces en vue de minimiser leur masse induit automatiquement la réduction des épaisseurs. Au niveau impression 3D par dépôt de fil, cela provoque l'apparition de matériaux supports à enlever pour obtenir la pièce finale. Selon le type d'imprimante, ce support doit être enlevé soit mécaniquement (matériau identique support et matière : imprimante 1 tête), soit par dissolution (imprimante 2 têtes). Bien sûr, d'autres types d'imprimantes peuvent contourner ce type de problème : imprimante par stéréolithographie (SLA), frittage sélectif laser (SLS)

Matériaux : Dans l'épreuve U41, une activité liée aux essais peut être observée. Aussi, compte tenu de la chaîne numérique liée à la conception et à la réalisation du prototype, il est nécessaire de vérifier que les bibliothèques logiciels utilisées comportent bien les matériaux utilisés en impression par défaut. Sous le logiciel Inspire, seul l'ABS figure dans cette bibliothèque (Peut être existe -t- il des modalités d'importation de nouveaux matériaux complémentaires).

KERAVAL Stéphane
FRANCESHI Bruno
LE MAREC Stéphane

Enseignants BTS CPI lycée Colbert Lorient

