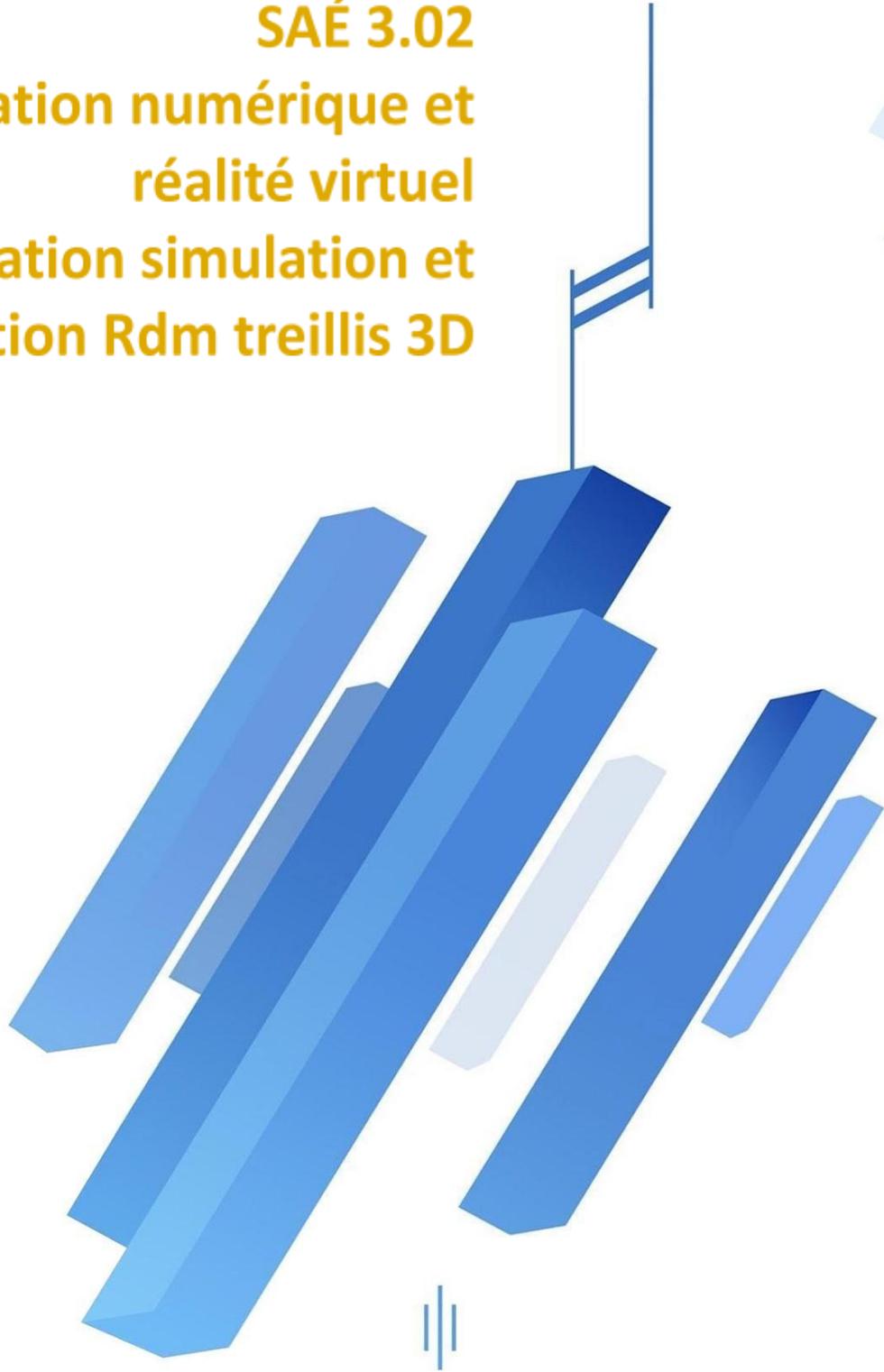


**SAÉ 3.02**  
**Simulation numérique et**  
**réalité virtuel**  
**Confrontation simulation et**  
**réalisation Rdm treillis 3D**



Noam Lazrague  
Mathis Lebreton

# SOMMAIRE

## 1. Introduction

## 2. Analyse du cahier des charges

## 3. Réflexion papier

- I. Dessin des treillis papier p.

## 4. Simulations numérique

- I. Partie 1 – Conception de chaque treillis p.
- II. Partie 2 – Etude Statique de chaque treillis p.
- III. Partie 3 – Etude Flambage de chaque treillis p.
- IV. Treillis final p.
- V. Prévision du lieu de rupture du treillis p.

## 5. Test réel

- I. Impression 3D Treillis final p.
- II. Test Treillis traction p.
- III. Résultats p.
- IV. Comparaison avec les prévision p.

## 6. Problèmes rencontrés en amont

- I. Problème de treillis p.
- II. Problème Simulation p.

## 7. Conclusion

## 1. Introduction

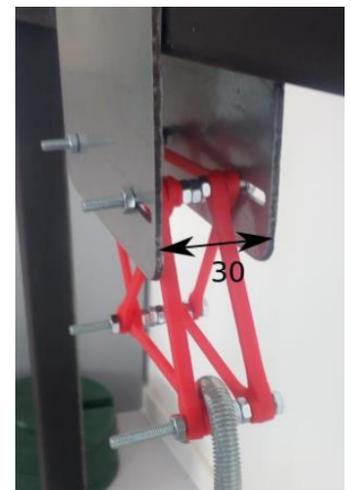
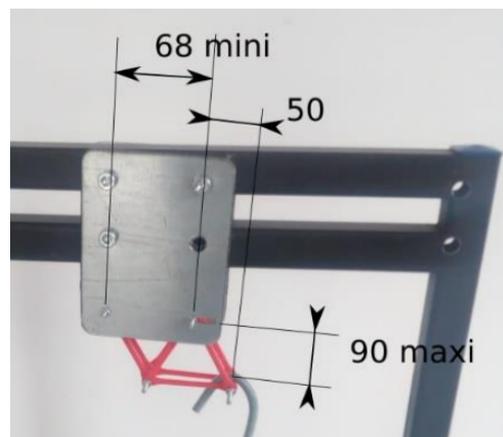
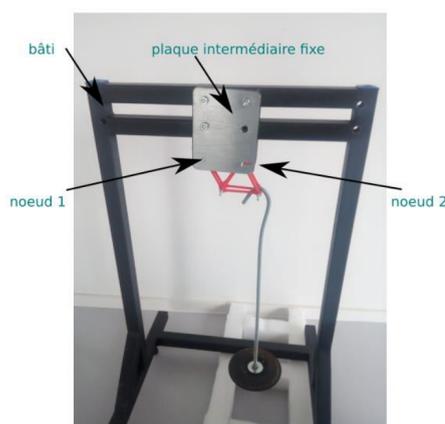
Dans le cadre de notre seconde année de BUT Génie Mécanique et Productique à l'IUT d'Angers la SAÉ 3.02 nous permet de mettre en pratique nos connaissances en lien direct avec la compétence 5 "Simulation Numérique et Réalité Virtuelle" au travers d'un cahier des charges ayant pour finalité la conception et le développement d'un treillis capable de soutenir une charge donnée, tout en respectant certaines cotations imposées et en utilisant les méthodes vues en cours.

## 2. Analyse du cahier des charges

L'objectif de ce projet est de concevoir et d'étudier par groupe de 2 un treillis capable de supporter la plus grande charge tout en étant le plus léger possible. Il s'agit d'un travail complexe ayant pour but d'optimiser au plus possible le rapport masse et résistance.

Le treillis devra être fixé sur 2 nœuds à une plaque accrochée en hauteur sur un bâti et reliée au deuxième treillis (il s'agit d'un treillis miroir c'est-à-dire qu'ils sont parfaitement identiques et se rejoignent à l'aide de vis permettant leur alignement). Le premier nœud sera fixe et empêchera les déplacements selon les 3 axes X, Y et Z, quant au deuxième il n'empêchera seulement les déplacements selon les axes Y et Z.

Le choix de la forme, du nombre de barres et des chapes était libre, cependant l'objectif de ce travail est de pouvoir supporter une charge imposée de 40Kg et de respecter quelque cotation d'entraxe obligatoire.



Comme on peut l'observer sur ces images fournies par le professeur les cotations à respecter sont notamment destinées au futur montage du treillis pour exemple :

- La "68 mini" correspondant à la distance entre les 2 trous de la plaque sur laquelle sont fixés les nœuds 1 et 2 pouvant varier à plus de 68 comme on ne bloque pas l'axe X.

- La "90 maxi" correspond à la distance entre le nœud 2 et la vis soutenant la charge entre les 2 treillis, cette cote est sûrement nécessaire à cause de la taille du support de la charge qui sinon toucherait le sol et ne servirait à rien.

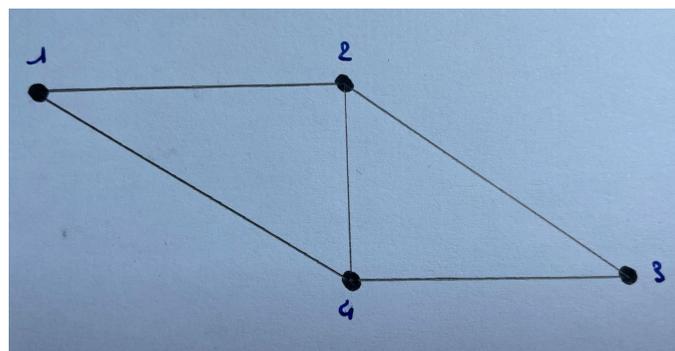
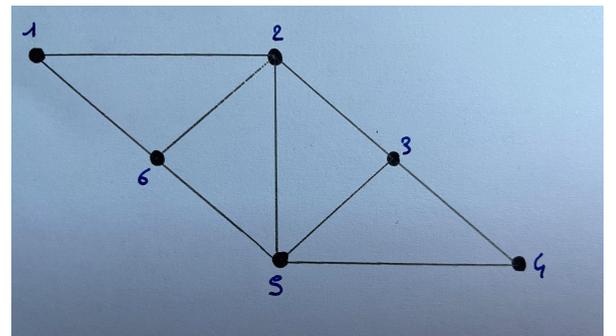
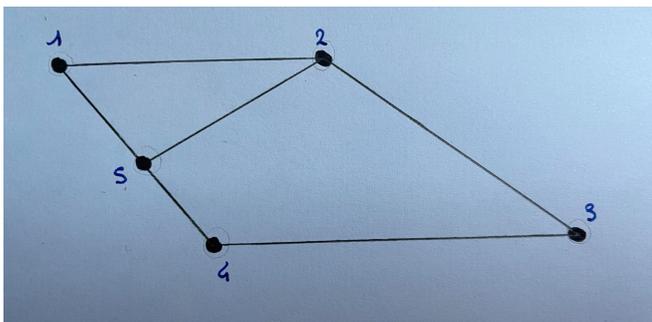
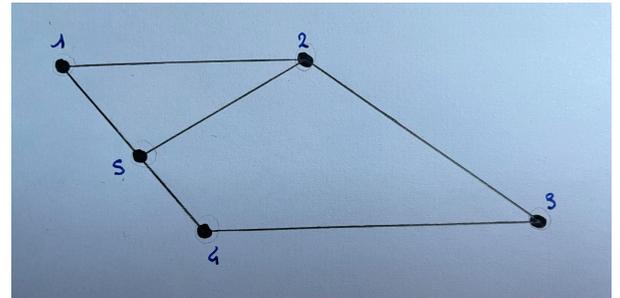
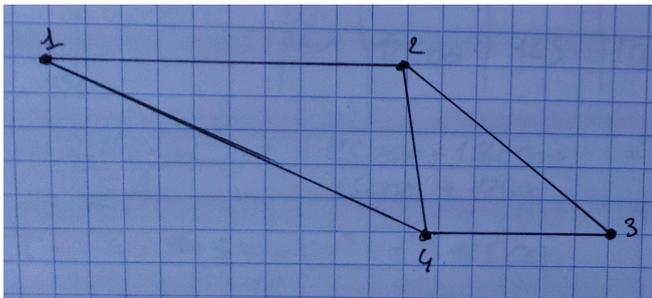
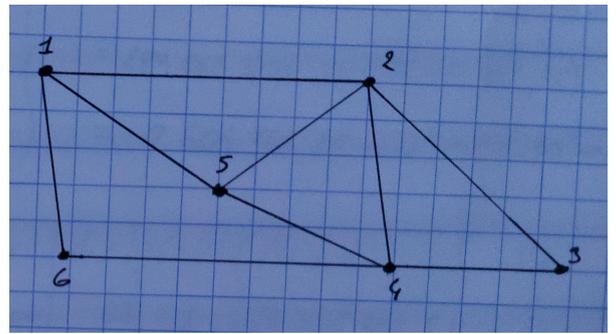
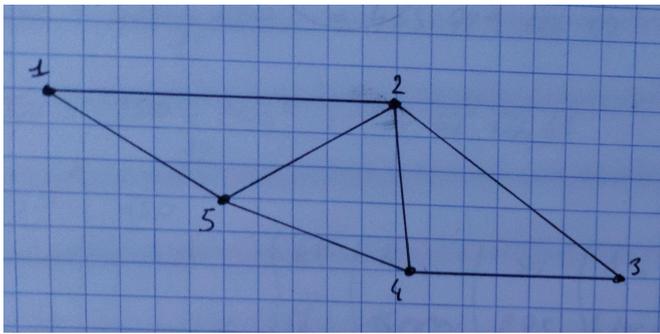
De plus comme conseillé par le professeur nous avons utilisé des rondelles à la place des boulons pour positionner nos barres.

Le matériau qui sera utilisé est du PLA (plastique) pour l'impression 3D

### 3. Réflexion papier

#### 1. Dessin des treillis papier

Comme dit précédemment le choix de la forme et du nombre de barres était libre, nous avons donc imaginé plusieurs formes de treillis avant de tous les essayer sur Solidworks. Pour ce faire, nous avons imaginé des treillis et de potentielles formes pouvant supporter de lourdes charges. Nous nous sommes renseignés sur la forme de certains ponts et de certaines grues qui ont tout d'eux pour but de résister à de grandes charges. Plusieurs versions de treillis ont été dessinées.



## 4. Simulations numérique

### I. Partie 1 – Conception de chaque treillis

Pour la conception des treillis nous avons utilisé 2 méthodes.

La première est la fonction mécano soudée de Solidworks. Cette méthode consiste à créer une esquisse de notre treillis avec les dimensions voulues puis avec la fonction mécano soudée de créer des barres de l'épaisseur souhaitée.

Cependant utiliser cette méthode peut s'avérer long étant donné qu'il faut faire une étude statique après chaque modification du modèle pour savoir si notre système marche ou non.

Nous sommes donc passés à la deuxième méthode qui est le logiciel Scilab. Pour cette méthode nous utilisons un Excel créé préalablement par le professeur sur lequel nous détaillons certaines spécificités de notre système (nombre de barres, nombre de nœuds, coordonnées des nœuds, charge appliquée, aire des barres, module de Young, nœud bloqué selon l'axe X ou Y).

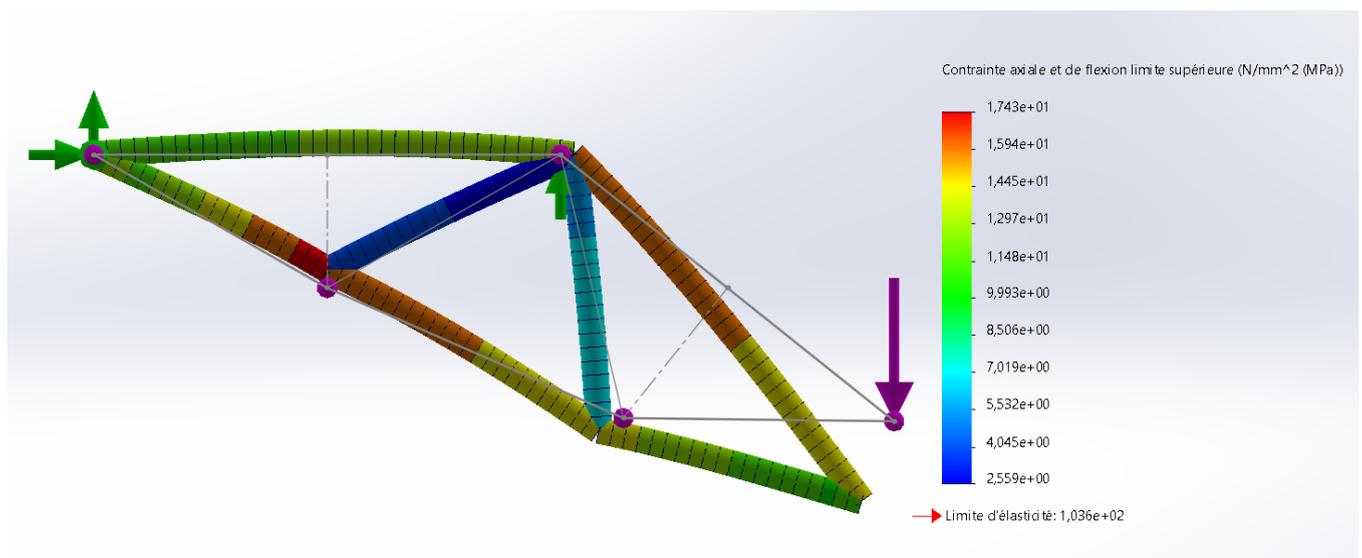
Une fois toutes ces données rentrées dans le tableur, il nous faut installer le logiciel Scilab et utiliser un programme écrit par le professeur directement lié au fichier Excel.

Le programme générera alors plusieurs modèles du treillis (une version normale, une version déformée par la charge et une version des deux précédentes superposées) ainsi qu'une matrice affichant les contraintes dans les barres.

Ce qui signifie qu'il nous suffit de modifier l'Excel, d'enregistrer et de relancer le programme pour effectuer des modifications.

Cette méthode permet d'obtenir des résultats plus précis et nous indique plus clairement les barres dont les sections doivent être modifiées pour éviter au maximum les contraintes.

### Mécano soudée :

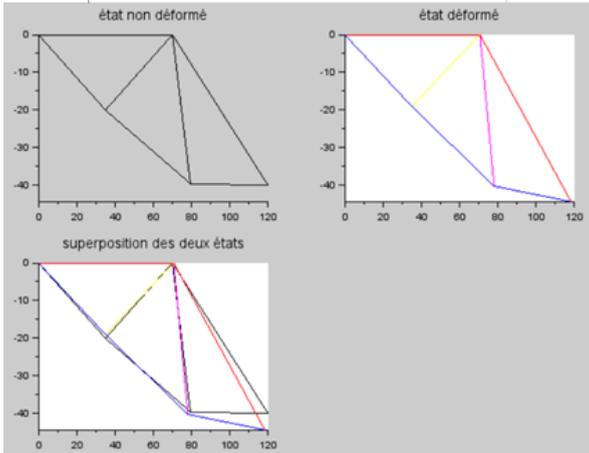


(Valeur obtenue avant modification sur Scilab)

### Scilab :

### Avant modification des sections

nombre de nœuds	5						
coordonnées Nx (mm)	0	70	120	79,38	35		
coordonnées Ny (mm)	0	0	-40	-39,52	-20		
facteur d'échelle	2						
N° nœud bloqué suivant x (en ordre croissant)	1						
N° nœud bloqué suivant y	1	2					
N° nœud avec effort ext suivant x							
Effort correspondant (N)							
N° nœud avec effort ext suivant y	3						
Effort correspondant (N)	200						
nombre de barres	7						
n° origine barre	1	1	2	2	2	3	4
n° extrémité barre	2	5	3	4	5	4	5
module de Young barre (MPa)	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600
section barre (mm <sup>2</sup> )	20	20	20	20	20	20	20

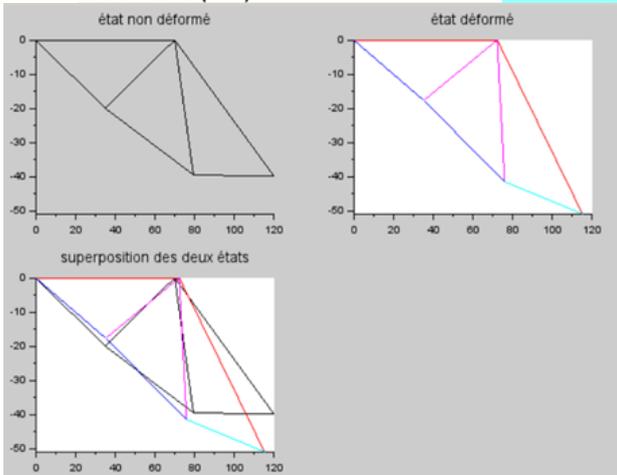


--> Sig  
Sig =

0.	12.5	0.	0.	-14.243281
0.	0.	18.120495	7.0846449	2.1433524
0.	0.	0.	-10.064098	0.
0.	0.	0.	0.	-14.844401
0.	0.	0.	0.	0.

### Après modification des sections

nombre de nœuds	5						
coordonnées Nx (mm)	0	70	120	79,38	35		
coordonnées Ny (mm)	0	0	-40	-39,52	-20		
facteur d'échelle	2						
N° nœud bloqué suivant x (en ordre croissant)	1						
N° nœud bloqué suivant y	1	2					
N° nœud avec effort ext suivant x							
Effort correspondant (N)							
N° nœud avec effort ext suivant y	3						
Effort correspondant (N)	-200						
nombre de barres	7						
n° origine barre	1	1	2	2	2	3	4
n° extrémité barre	2	5	3	4	5	4	5
module de Young barre (MPa)	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600
section barre (mm <sup>2</sup> )	6	10	12	6	2	6	7



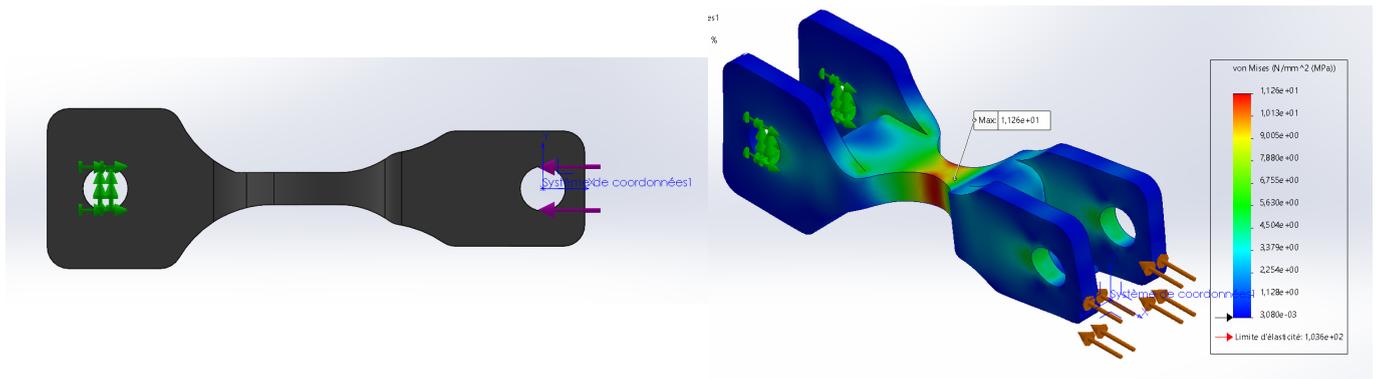
--> Sig  
Sig =

0.	41.666667	0.	0.	-27.891049
0.	0.	40.306162	27.713467	20.467348
0.	0.	0.	-26.15515	0.
0.	0.	0.	0.	-39.986614
0.	0.	0.	0.	0.

Le deuxième avantage de cette méthode est que maintenant que nous connaissons les contraintes que subit chaque barre précisément, il est possible d'appliquer une autre méthode vue en cours qui est l'étude par paliers.

Il s'agit d'une autre fonctionnalité de Solidworks dans l'onglet simulation, consistant à venir séparer nos noeuds en 2 grâce à la fonctionnalité "ligne de séparation", à venir y centrer un système de coordonnées et à venir appliquer la force sur le côté gauche où droit du noeud en fonction de si notre barre est en compression ou en traction.

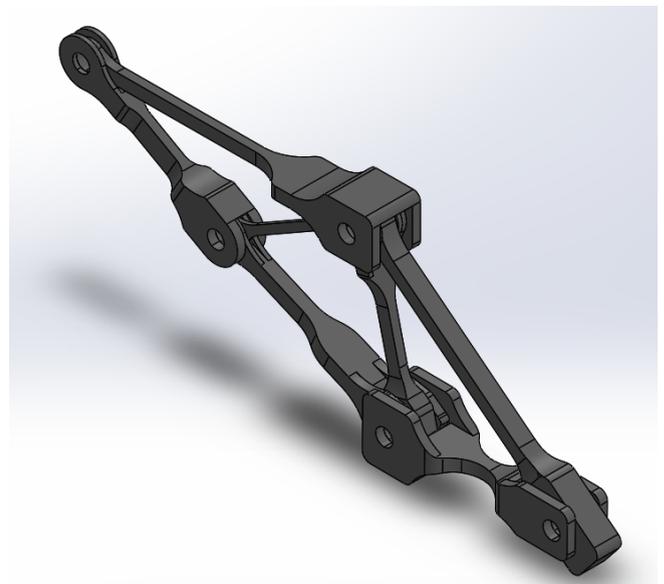
Ainsi il est possible de localiser toutes les contraintes des barres et de modifier les chapes en fonction des résultats pour supprimer les contraintes dans nos noeuds.



### Système avant et après l'étude par palier :

Avant

Après



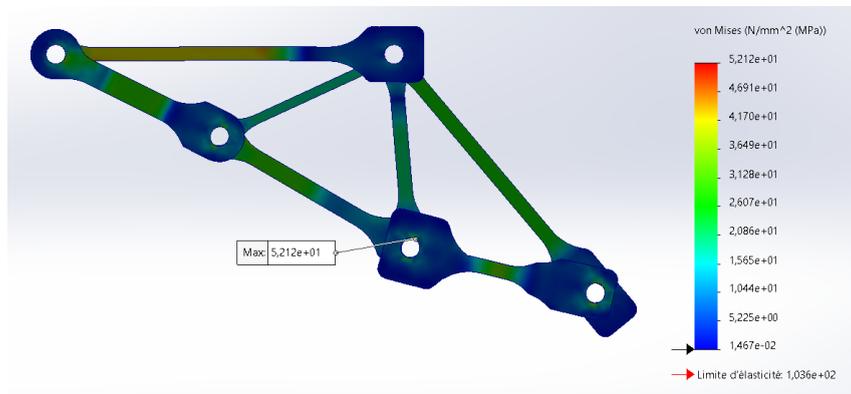
On peut remarquer que les sections de nos barres ont changé et que les chapes sont bien plus large et robustes par rapport a avant cela va nous conféré une meilleurs répartition des contrainte et une meilleur résistance.

## II. Partie 2 – Etude Statique de chaque treillis

Afin d'étudier les réactions de nos systèmes nous avons réalisé des études statique. qui est une simulation sur Solidworks nous permettant d'obtenir les résultats de la déformation du treillis ainsi que son image avec un barrême et une echelle de couleur, les résultats de la répartition des contraintes et la localisation du max de contrainte. Toutes ces données nous permettent de savoir si l'on respecte ou non le cahier des charges et si l'on peut encore optimiser notre système.

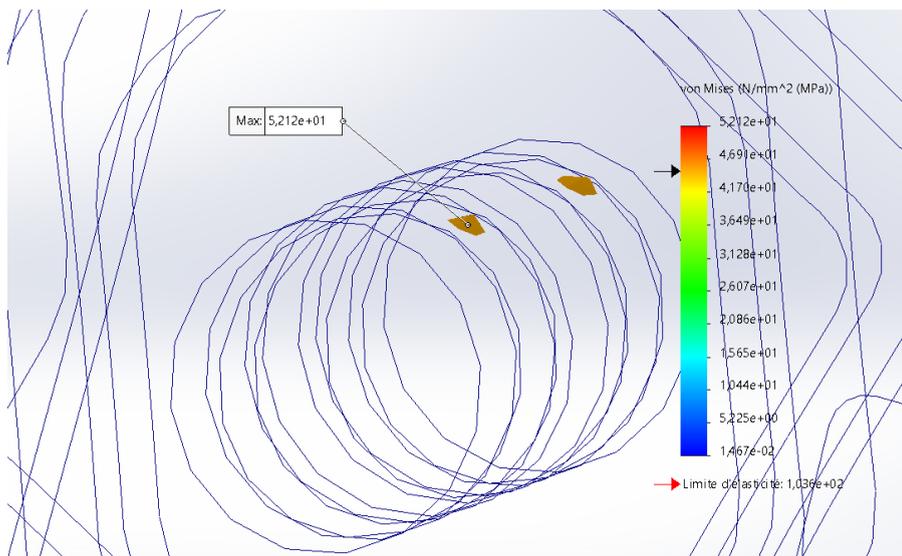
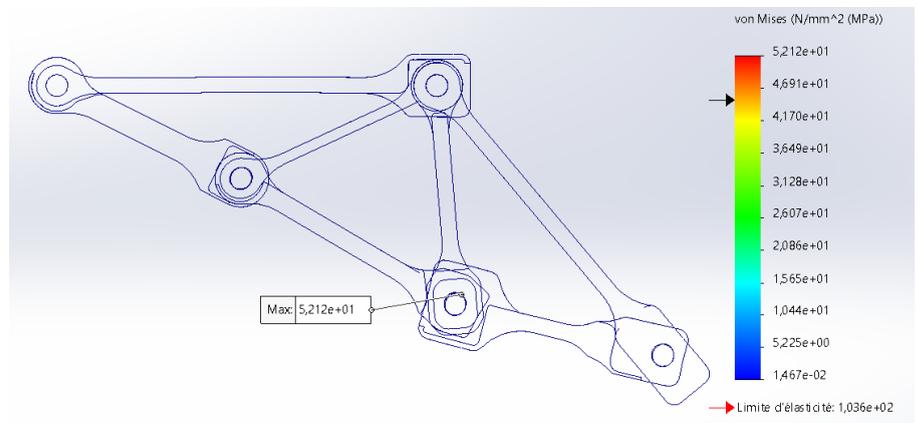
Ex : une de nos barres et afficher en rouge on va donc se référer à l'échelle à droite de l'image et nous pouvons savoir si cela respecte ou non notre demande.

Cette étude nous permet donc de déterminer si notre système est capable de supporter la charge voulue et nous indique où nous devons procéder à des modifications.



Comme on peut l'observer sur cet assemblage, toutes nos chapes sont coloré en bleu ce qui signifie selon la colonne de droite qu'il s'agit des endroits où l'on prend le moins de contrainte et montre l'utilité de notre étude par palier.

Grâce à la fonction "modification iso" il nous est notamment possible d'observer qu'elle contrainte sera visible lorsque la charge des 40 kg sera atteinte.

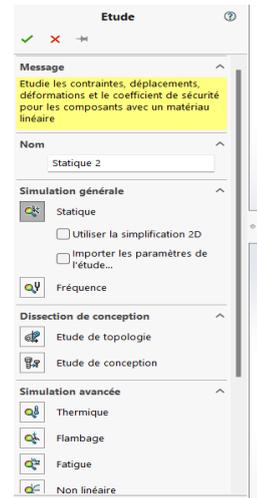


Heureusement pour nous les seules contraintes visibles se situent dans un nœud et plus précisément dans notre axe. Il est donc possible de négliger cette contrainte.

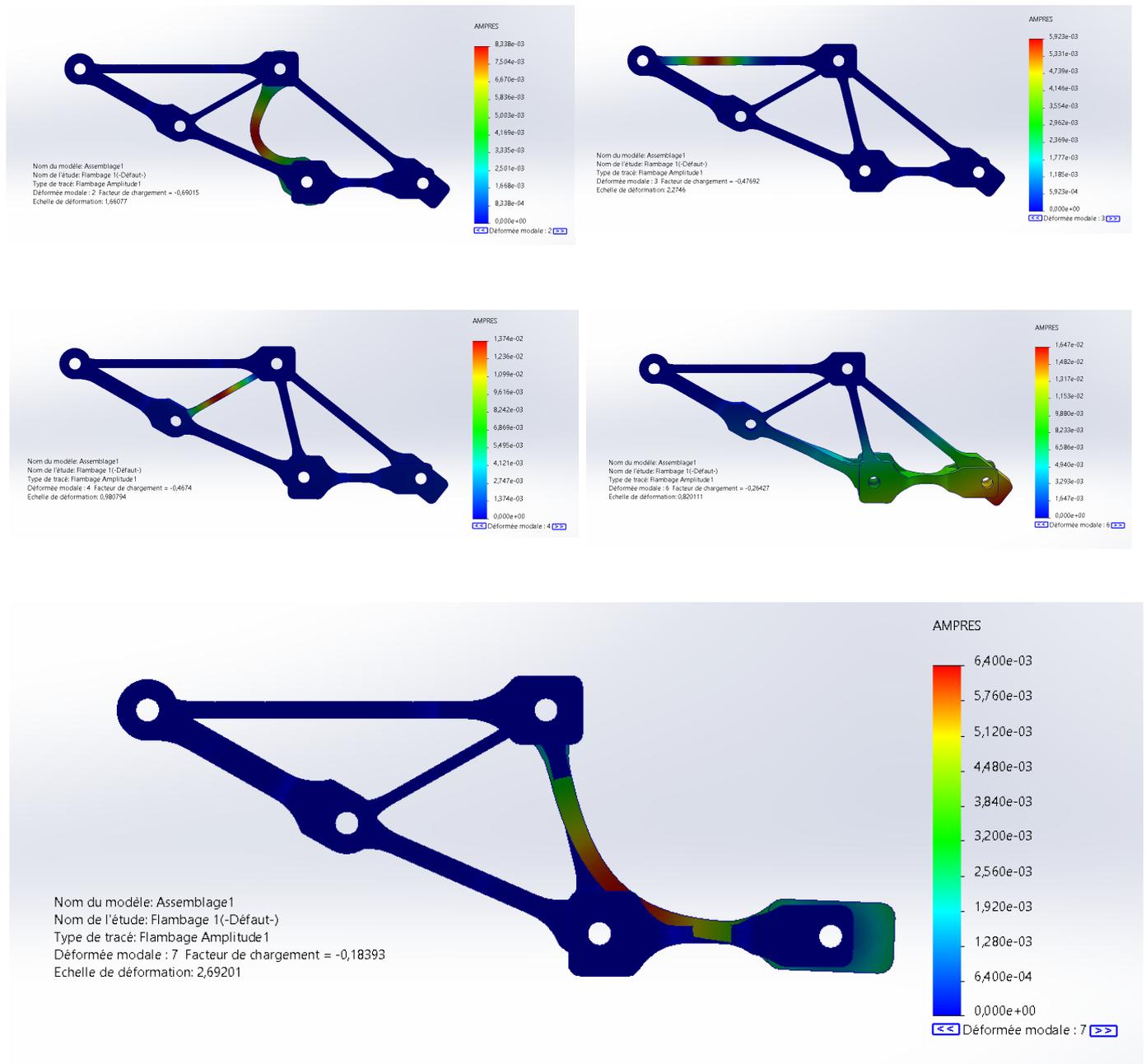
### III. Partie 3 - Etude Flambage de chaque treillis

Pour l'étude de flambage la simulation est légèrement similaire puisqu'il nous suffit d'entrer exactement les mêmes paramètres que l'étude statique par rapport au géométrie-fixe, pivot fixe, axe et force directement dans la simulation. La seule différence se trouve dans les résultats de la simulation.

Cette étude a pour objectif de nous montrer dans différents modes les différents endroits où notre système devrait rompre.



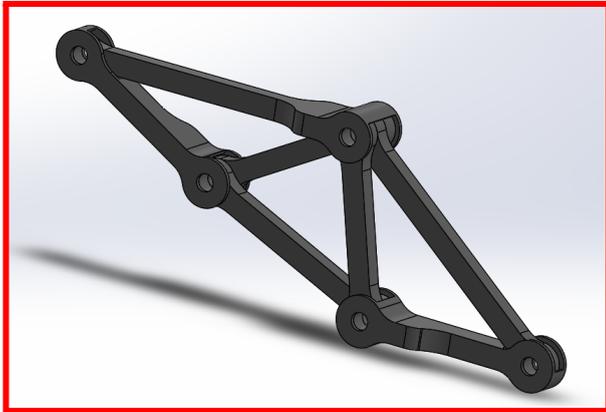
résultat obtenue



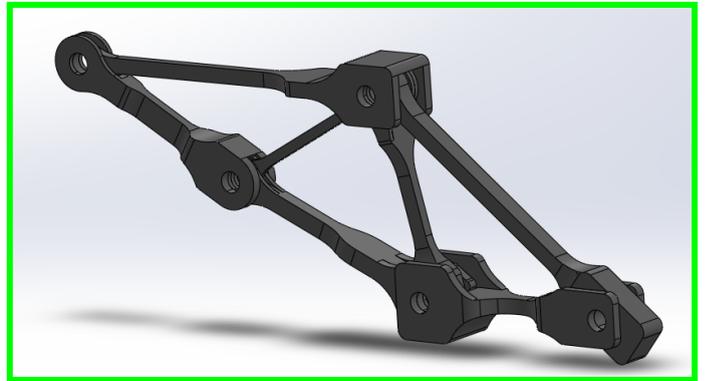
## IV. Treillis finale

Après étude des différents treillis imaginés au papier et étude en mécano soudée sur SolidWorks, nous avons choisis de garder le meilleurs de nos treillis. celui qui respecte le plus les attendus de la SAE (respecte le cahier des charges).

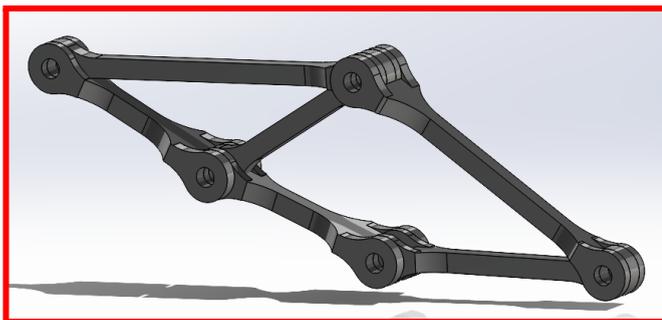
Treillis de base de Mathis



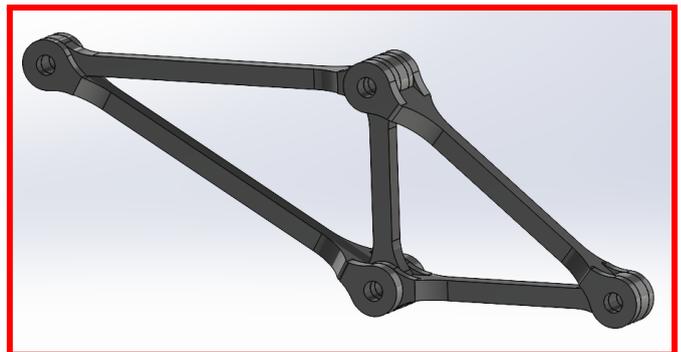
Treillis finale de Mathis



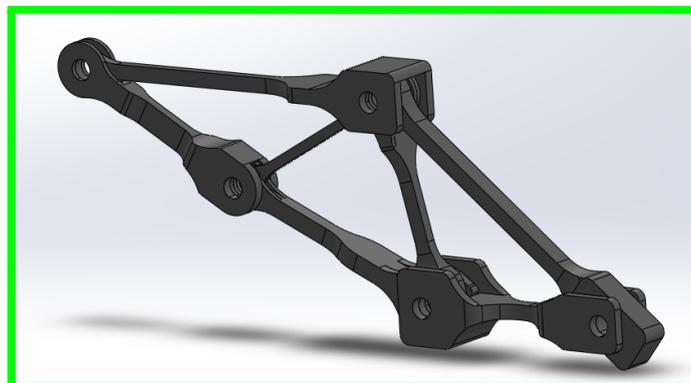
Treillis de base de Noam



Treillis de base de Noam



Finalement le premier treillis ayant fini fonctionnelle et qui sera imprimé est celui de Mathis.



## V. Prédiction du lieux de rupture du treillis

Comme montré précédemment dans l'étude de flambage on remarquera que notre barre prenant le plus de flambage est la barre 23. Il y a donc de forte chance que le système rompt à cet endroit en premier. Il s'agit de la barre qui sera soumise au plus gros effort de traction dans le treillis.

## 5. Test réel

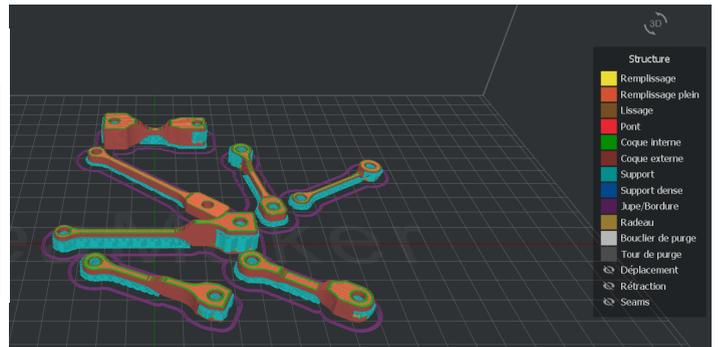
### I. Impression 3D Treillis final

Concernant l'impression le modèle 3D à dû être modifié afin d'obtenir les cotations d'origine voulu, pour cela nous avons retiré 0.2 mm de matière sur chaque contact pour anticiper le surplus de matière produit par l'imprimante 3D.

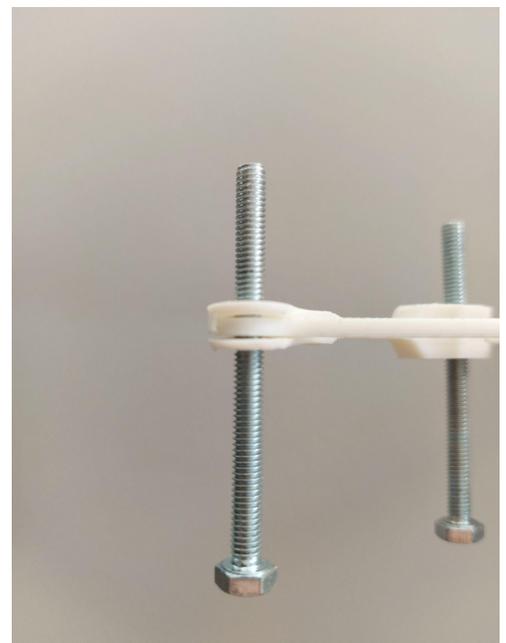
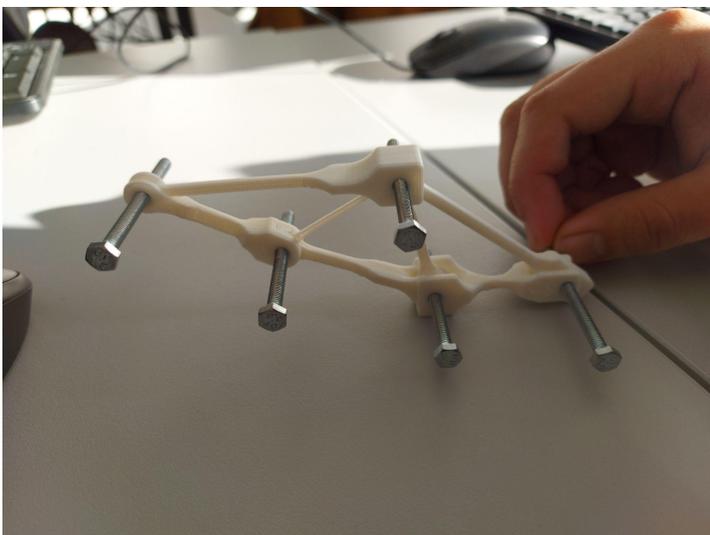
Ensuite nous avons installé le logiciel Ideamaker sur lequel il est possible de déposer des fichiers Solidworks enregistrés en format STL. Le logiciel modélise alors les pièces avec les supports d'impression nécessaires à leur fabrication, elle nous positionne ensuite les pièces et nous montre les différentes étapes de l'impression.

#### Estimation du resultat d'impression

Fichier d'impression prepare:	Assemblage treillis lebreton.gcode
Temps d'impression estime:	1 heure(s), 47 min, 37 sec
Quantite estimee:	14.8 g / 4.97 m
Prix estime:	€ 0.44



Une fois le treillis imprimé nous avons retiré tous les supports créés lors de l'impression, limé toutes les surfaces en contact pour faciliter le montage et fileter tous les trous d'axe.



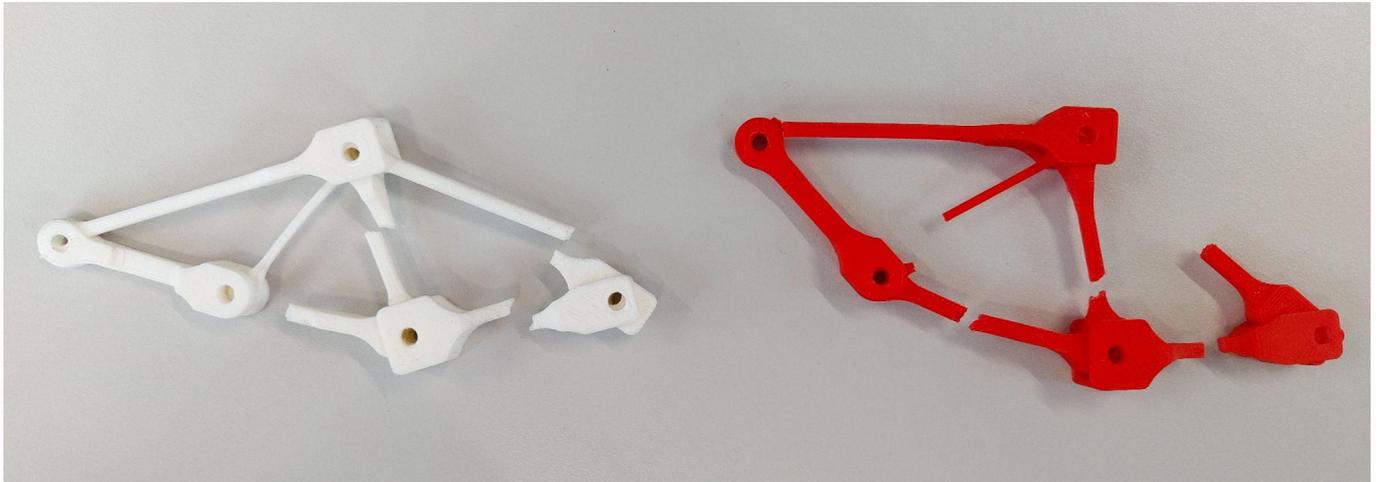
## II. Test Treillis traction

Une fois toutes les étapes précédentes finis nous procédons à l'assemblage des barres des 2 treillis et au montage sur les plaques puis sur le bâti. Ainsi tout est prêt et il ne nous reste plus qu'à appeler le professeur et procéder au test. Nous chargeons petit à petit les poids sur le treillis afin d'éviter tout geste déplacé pouvant créer des efforts trop grands et faire rompre le treillis ce qui fausserait nos résultats.



### III. Résultats

Finalement notre treillis à réussi à résister à tous les poids vert ce qui signifie une charge d'environ 46 kg. Le treillis à rompu pile au moment où un poid jaune à été rajouter.



### IV. Comparaison avec les prévision

Après analyse de la vidéo en slow motion du test, il a été possible d'identifier la première rupture qui est celle de la bielle 23, reposant alors le poid sur les bielless 34, 42 et 45 qui ont ensuite rompu chacune leurs tours.

La prévision que nous avons effectuée sur la zone de rupture durant le test de flambage s'avère être correcte nous avons donc bu juste sur le lieu de rupture de notre treillis.

## 6. Problèmes rencontrés en amont

### I. Problème de treillis

Voici la liste et les explication des problèmes qui sont arrivés à propos de notre treillis :

- La méthode Scilab commence trop tard, nous n'avons pas utilisé Scilab au début. Nous avons simplement cherché à modéliser nos treillis à l'aide de nos idées et non avec le logiciel pour correctement dimensionner nos barres.
- Pas d'étude topologique
- Problème d'impression à cause de l'ajout de matière fait par l'imprimante sur chaque contact. Nous n'avons pas pris en compte les bonne côte nous avons pris 0.1mm de matière en trop, après impression nous ne pouvons pas assemblé correctement le treillis et les trous n'étais pas au bon diamètre soit 4.1mm au lieu de 4.2mm
- Cotation d'une bielle pour l'impression mal faite causant la rupture d'une chape lors du montage. Nous avons cassé plus précisément effilé une chape durant le montage cela est dû au reste des supports que nous avons mal enlevé avant notre montage nous avons légèrement forcé afin de la faire rentrer mais celle-ci s'est dégradée.

## II. Problème Simulation

Voici la liste et les explication des problèmes qui sont arrivés à propos de notre étude statique :

- Problème de masse. Nous avons eu quelques problèmes pour alléger le système tout en respectant les contraintes max et les autres données nous étant importantes.
- Problème d'étude statique. Nous avons commis une erreur pendant plusieurs de nos études statiques qui est de ne pas supprimer les contacts entre les supports.
- Problème de dimensionnement. Nous n'avons pas pris les bonnes cotation car l'imprimante 3D a un défaut d'impression de + ou - 0.2mm et nous n'avons pris que 0.1mm. Nos trous étaient aussi trop petits.

## 7. Conclusion

Durant cette SAE de Simulation Numérique et Réalité Virtuelle fut une bonne expérience d'apprentissage pour nous. Ce projet nous a conduit à travers les différentes phases de conception et de développement a un véritable aperçu de prototypage d'un treillis en PLA (plastique d'impression 3D) à l'aide de différents logiciels de CAO (Solidworks Scilab et Idéamaker). La joie de travailler et le frisson que procure la résolution des différents problèmes et défis nous ont donné une idée du travail à fournir dans les projets de prototypage de Simulation Numérique.

C'est grâce à ce projet que nous avons appris comment doit être conçu un prototype de treillis pour des essais de traction.