

Projet GAIA: casse des ponts

Rapport de modélisation RDM

—
Juin 2019



UNIVERSITÉ
DE LYON

//ENTPE

L'école de l'aménagement durable des territoires

BEYET Gaëlle-Anne
CAMPBELL Dorian

Sommaire

Table des matières

- Introduction..... 2
- Problème réel 2
 - Descriptif de l’ouvrage 2
 - Descriptif de la rupture 5
- Modélisation..... 8
 - Modélisation de l’ouvrage..... 8
 - Analyse de la rupture 10
- Conclusion 12

Introduction

Le projet de modélisation d'un pont est un projet s'inscrivant dans le cadre du cours de Résistance des Matériaux et ce, de différentes manières.

La première partie du projet consistait en la réalisation d'un pont à l'aide de baguettes en bois. Il s'agissait de relier deux berges distantes de 1.20 m ayant un dénivelé de 20 cm.

Le matériel à disposition était composé de baguettes de balsa, de la ficelle, de la colle et une planche de chargement.

Problème réel

Descriptif de l'ouvrage

Notre réflexion commune nous a mené à la réalisation d'un pont en arc, suspendu. En effet, compte tenu du dénivelé ainsi que la présence de butées de chaque côté, cela nous paraissait pertinent. Le poids est ainsi réparti sur les côtés du pont et dissipé dans le sol.

Le choix d'un angle de 45° entre le sol et l'arche permet de maximiser la dissipation d'énergie par le sol et donc de renforcer la résistance de la structure.

Puisque les efforts sont plus importants sur les bords, il était nécessaire de renforcer les parties basses grâce à des traverses.

Nous avons utilisé pour les arches principales des baguettes de balsa de 2 mm d'épaisseur. Celles-ci ont la particularité d'être très flexibles.

Puisque le bois travaille mieux en compression, nous avons renforcé les arches avec des traverses en diagonale. Les traverses ont été découpées dans des baguettes de section carrées de 4 mm de côté.

Les deux parties du pont ont été réalisées séparément puis assemblées par des traverses diagonales.

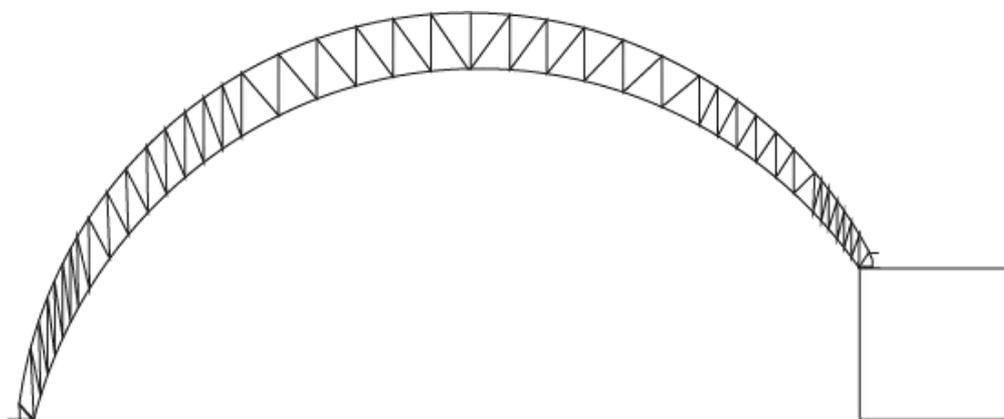


Schéma de la structure du pont : pont en arche

La structure principale permet de supporter le tablier grâce à des cordes tendues verticalement. Les cordes sont très résistantes en traction et a la particularité de très peu alourdir la structure.

La réalisation de notre pont s'est effectuée en plusieurs étapes. Après la partie de conception, vient la partie de construction. Après avoir couché sur le papier les plans de notre pont, nous avons reproduit le profil à taille réelle sur un carton. Nous avons ensuite planté des clous dans ce carton afin de pouvoir bien mettre en place les tiges de balsa. Nous avons d'abord placé les baguettes des arches avant de découper puis coller les traverses.



Première moitié du pont après séchage

Après que la première moitié de la maquette ait séché, nous avons réalisé la deuxième moitié par symétrie. Cette étape était plus fastidieuse car il fallait coller les arches sur les traverses et non pas l'inverse.



Mise en place des traverses pour la deuxième moitié du pont

La dernière étape a été d'assembler les deux moitiés pour réaliser le pont. Pour éviter le flambement, nous avons disposé des traverses en diagonales entre les deux arches afin de rigidifier le pont.

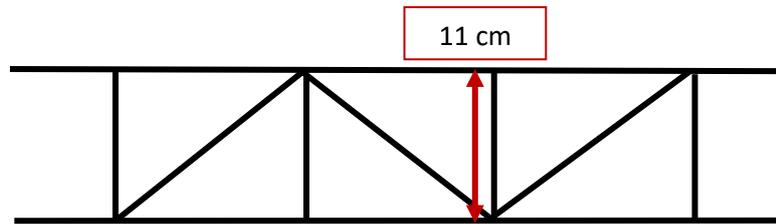
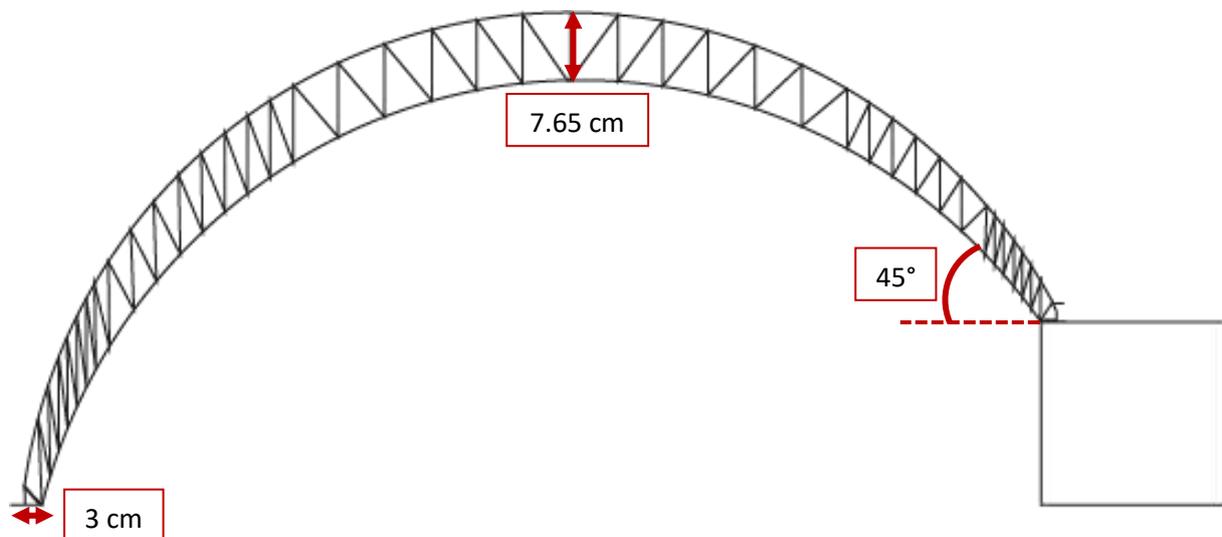


Schéma de la disposition des traverses reliant les deux arches (pont vu de haut)

Nous avons vérifié la verticalité du pont grâce à des tréteaux selon la méthode indiquée. Enfin, nous avons fixé le tablier grâce aux ficelles que l'on a tendues au maximum.

Toutefois, à l'issue de ces étapes, nous avons remarqué que certaines liaisons de colle étaient fragilisées et que le pont n'était pas tout à fait stable ainsi qu'un peu court compte tenu de la distance à franchir.

Le schéma suivant récapitule les principales dimensions caractéristiques de l'ouvrage.



Poids : 298g

Charges avant rupture: 58Kg



Maquette finale du pont avec tablier

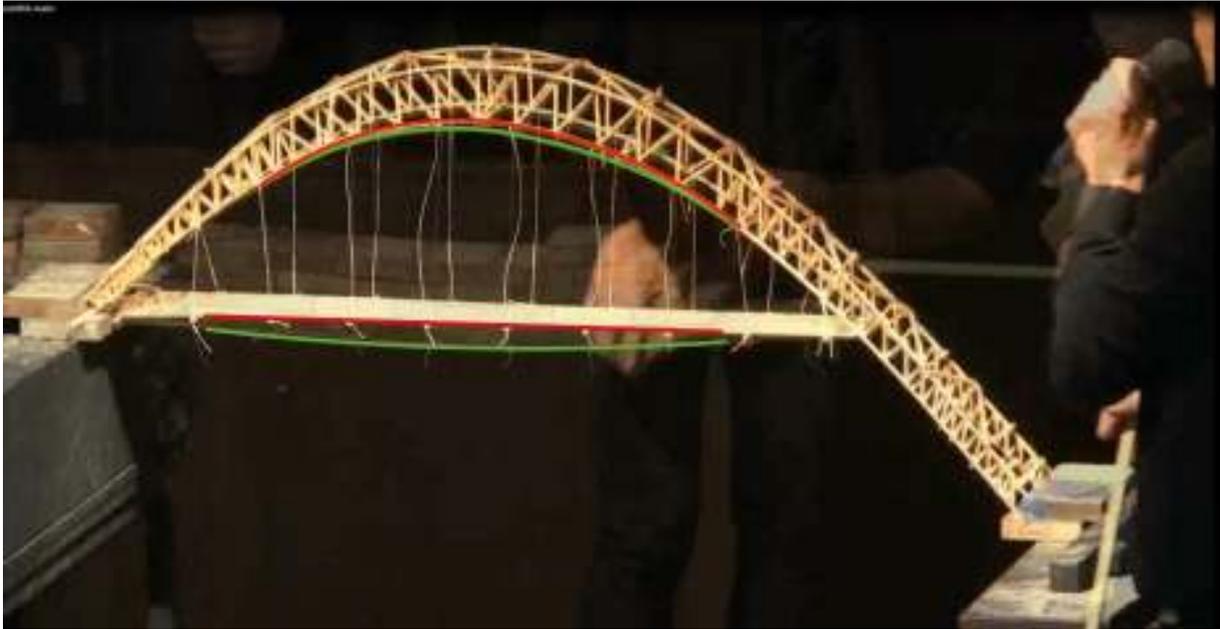
Descriptif de la rupture

Lors de la session de casse des ponts, nous avons constaté que notre pont était un peu trop court, il a donc été calé en butée grâce à des poids de chaque côté.

Les enseignants ont chargé le pont avec des poids de 2 kg disposés sur le tablier. Le tablier subit donc un ajout de forces ponctuelles qui mènent à une charge répartie. La structure du pont est soumise, quant à elle, à des forces ponctuelles appliquées en chacun des points d'attache des cordes.

Dans un premier temps, les cordes se sont tendues sous l'effet des poids. A mesure du chargement, on observe que le tablier se déforme. On n'observe pas de déformation à l'œil nu sur la structure.

Toutefois, après analyse des images de la casse des ponts, on remarque une faible déformation de la structure avec un maximum au niveau de la flèche. (Voir image ci-dessous)



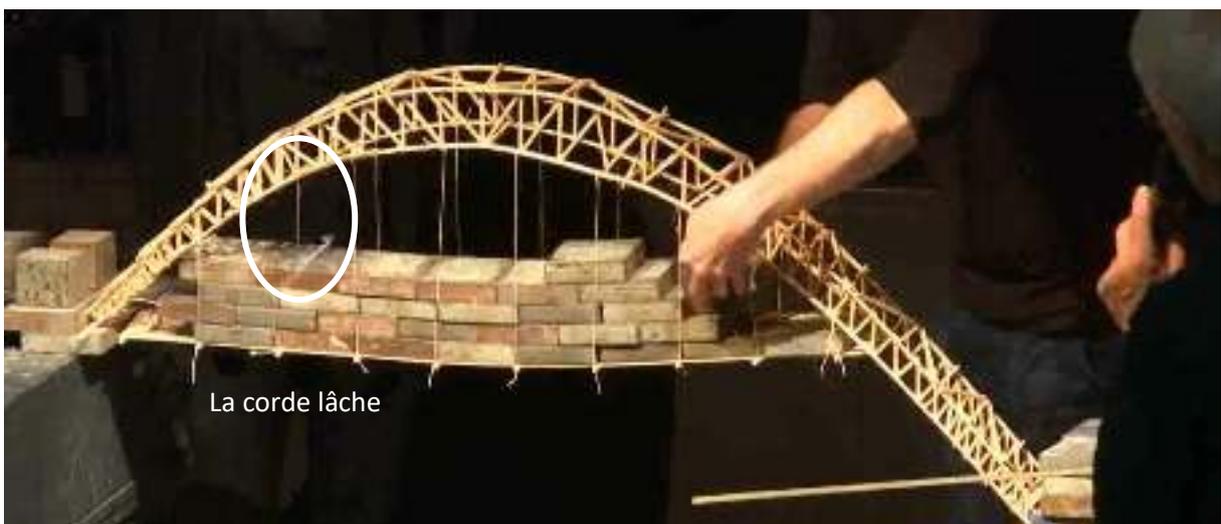
— Pont sans charge

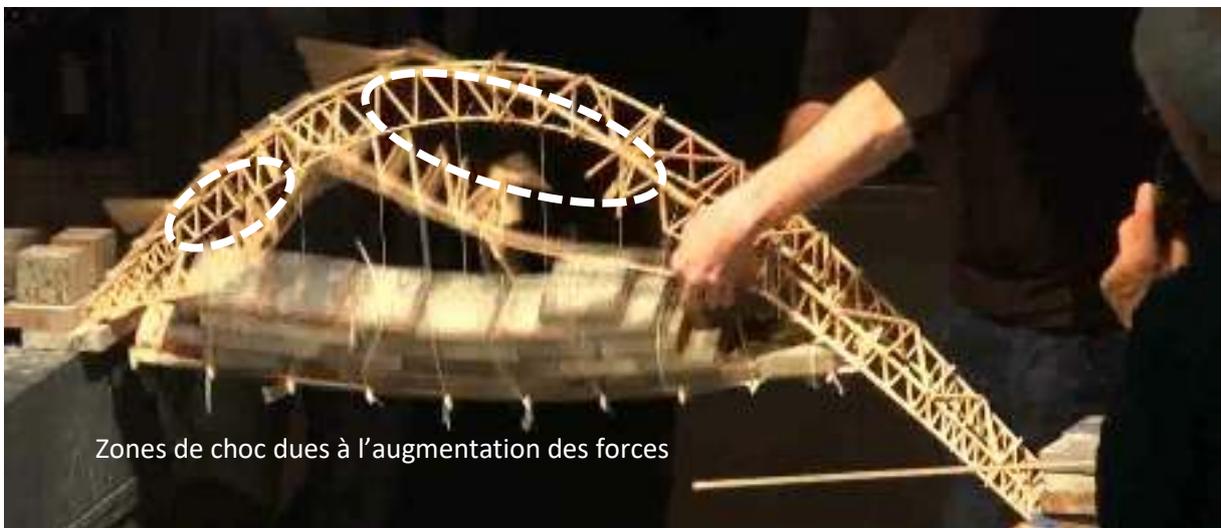
— Pont avec charge maximale

L'analyse de ces images nous permet également de constater que c'est l'une des cordes qui casse sous le poids appliqué. Notre structure en bois aurait ainsi pu supporter plus de poids.

A la rupture de cette corde, le poids appliqué augmente sur les cordes adjacentes. De plus, le tablier se trouve déséquilibré. Celui-ci bascule et il y a donc rupture de la structure du pont en deux endroits opposés dûe au choc. La charge maximale appliquée a ainsi été de 58 kg.

Les images suivantes reprennent les étapes de la casse.





Modélisation

Modélisation de l'ouvrage

La modélisation est réalisée sous Autodesk Robot Structural.

Pour réaliser cette modélisation nous devons faire quelques hypothèses :

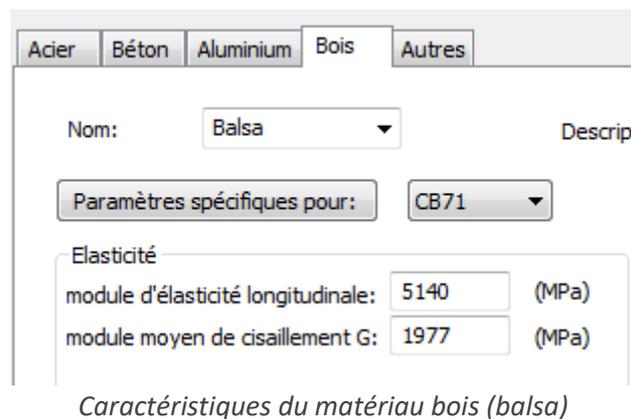
- **Hypothèses sur le matériau :**

1. Homogène : composition chimique et propriétés mécaniques identiques en tous points
2. Isotrope : mêmes propriétés physiques dans toutes les directions de l'espace

Les poutres sont modélisées avec un matériau type bois/balsa,

Module d'élasticité E : 5140 (M. Pa)

Module de cisaillement G : 1977 (M. Pa) de sections carrées 4 x 4 mm



- **Hypothèses sur la géométrie :**

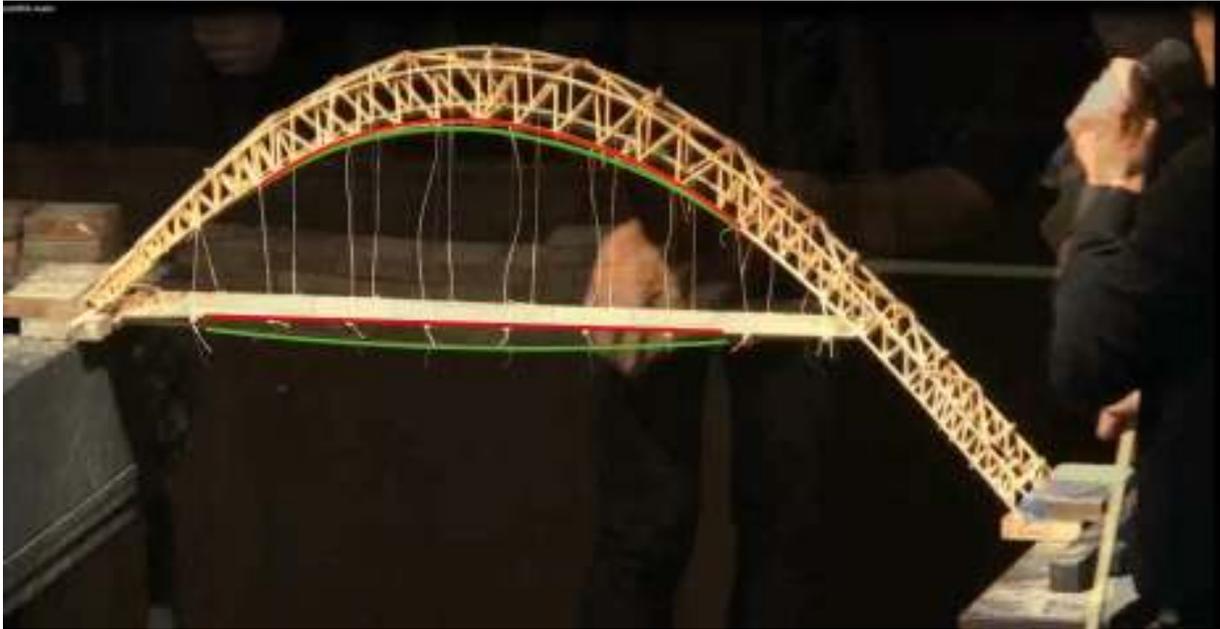
1. Grande longueur par rapport aux dimensions de la pièce
2. Section Droite S constante

De plus nous assimilons le pont à un modèle en 2 dimensions où nous négligeons toutes les imperfections dues au montage (barres qui ne sont pas parallèles les unes par rapport aux autres, ...).

- **Hypothèses sur les liaisons**

Les liaisons entre chaque poutre sont représentées par des encastremements car les déformations sont minimales (pas de rotation entre les poutres avec charge et sans charge). (Voir la photo ci-dessous)

L'action de la colle est négligée lors de la modélisation.



Déformation du pont sous l'effet du poids appliqué

(Rouge : pont à vide, vert : charge maximale)

Les liaisons qui soutiennent le pont sont représentées par des appuis simples.

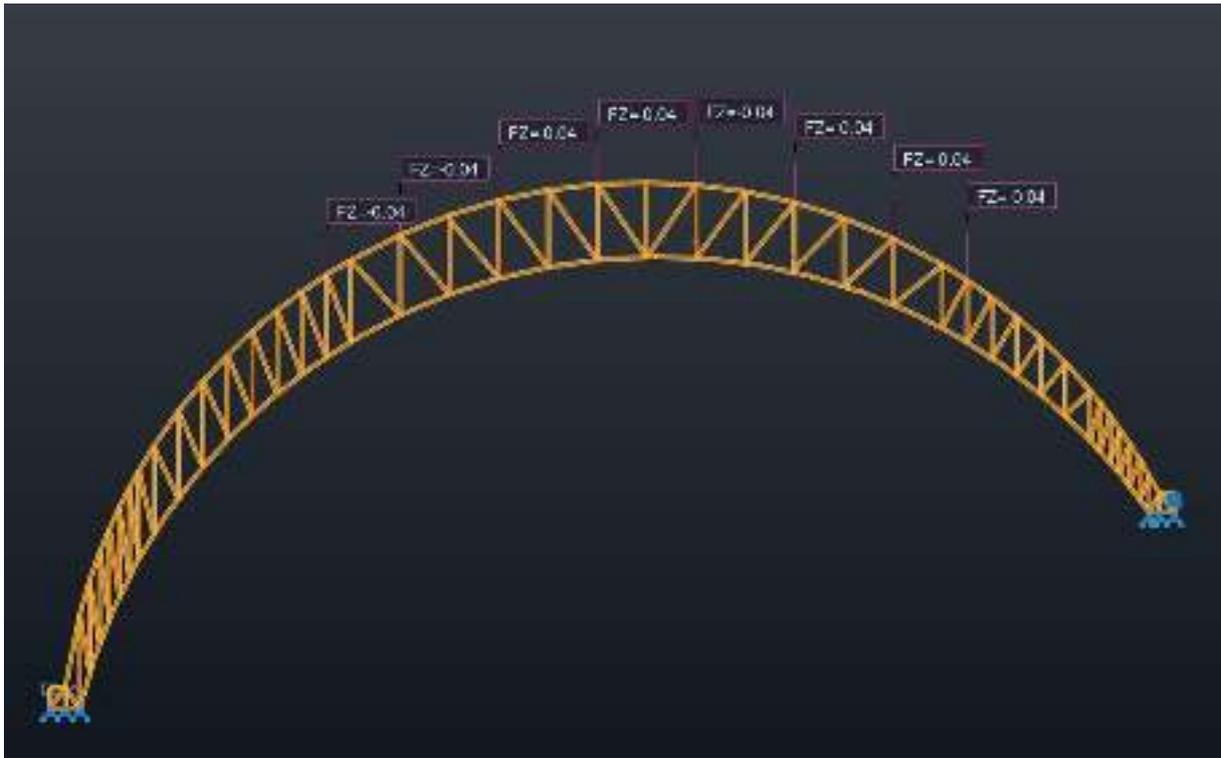


Quatre appuis simples supportent la structure

Le cas de chargement est simplifié, le tablier et les cordes ne sont pas représentés. On suppose de plus que le chargement est uniforme. Les forces sont appliquées aux points d'appui de celle-ci (*Voir photo à la suite*), elles sont assimilées à une charge ponctuelle sur -Uz de 0.04Kn.

$$F_{corde} = \frac{g * P_{rupture}}{nb_{corde}} = \frac{9.81 * 58}{16}$$

$$P_{rupture} = 58 \text{ kg}$$

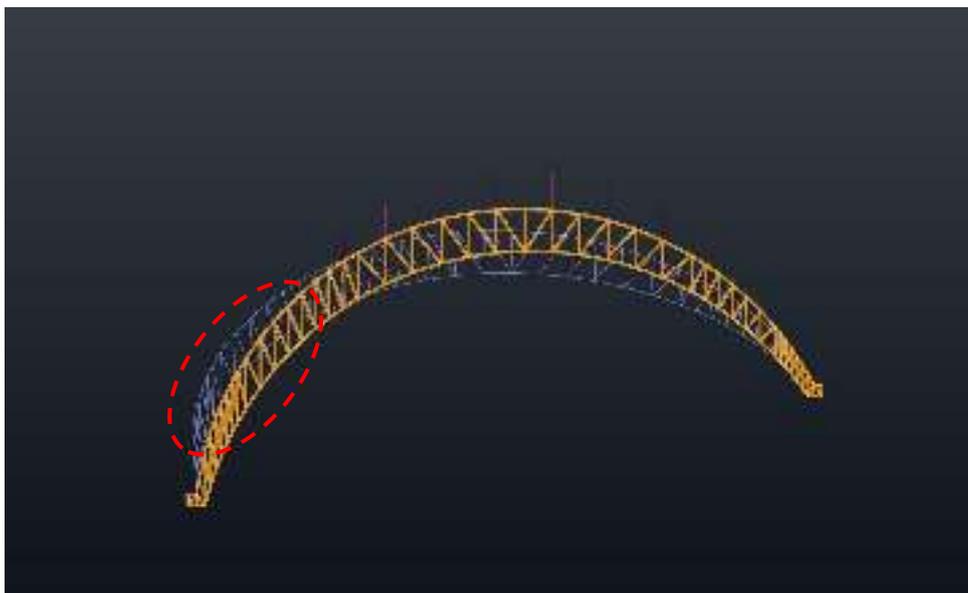


Répartition des forces sur la structure modélisée

Analyse de la rupture

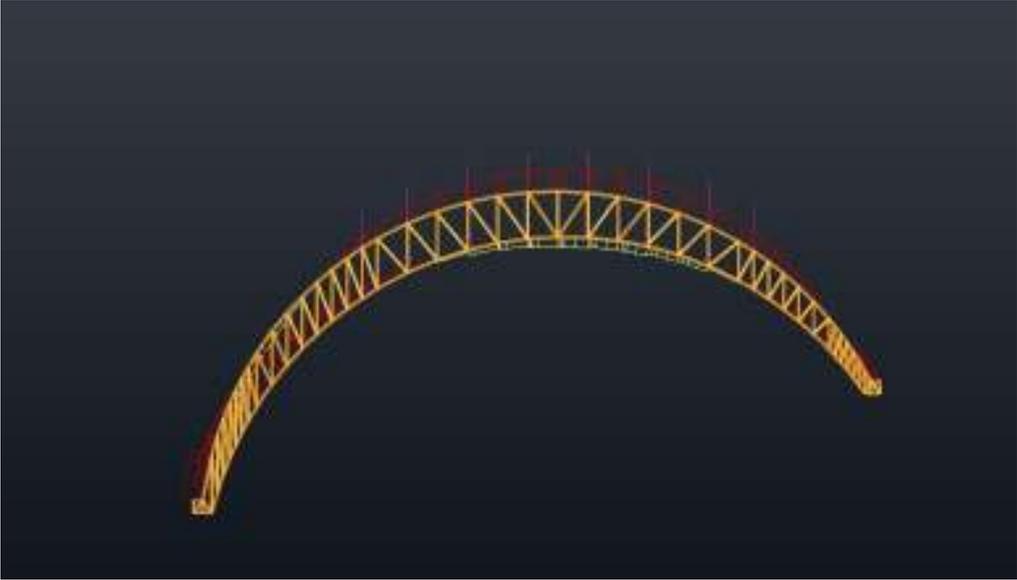
À la rupture réelle, une corde a rompu. L'analyse de la modélisation va permettre de voir où se situent les zones susceptibles de rompre et quel poids peut théoriquement soutenir le pont si les cordes n'avaient pas fait défaut.

La modélisation permet d'obtenir les résultats suivants :

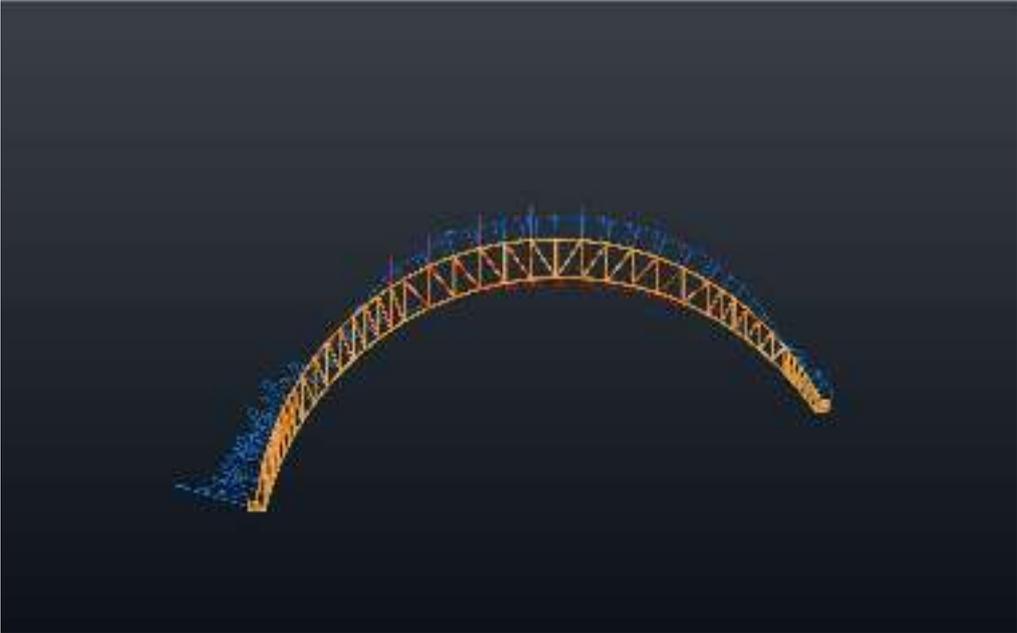


Calcul de la déformé de la structure.

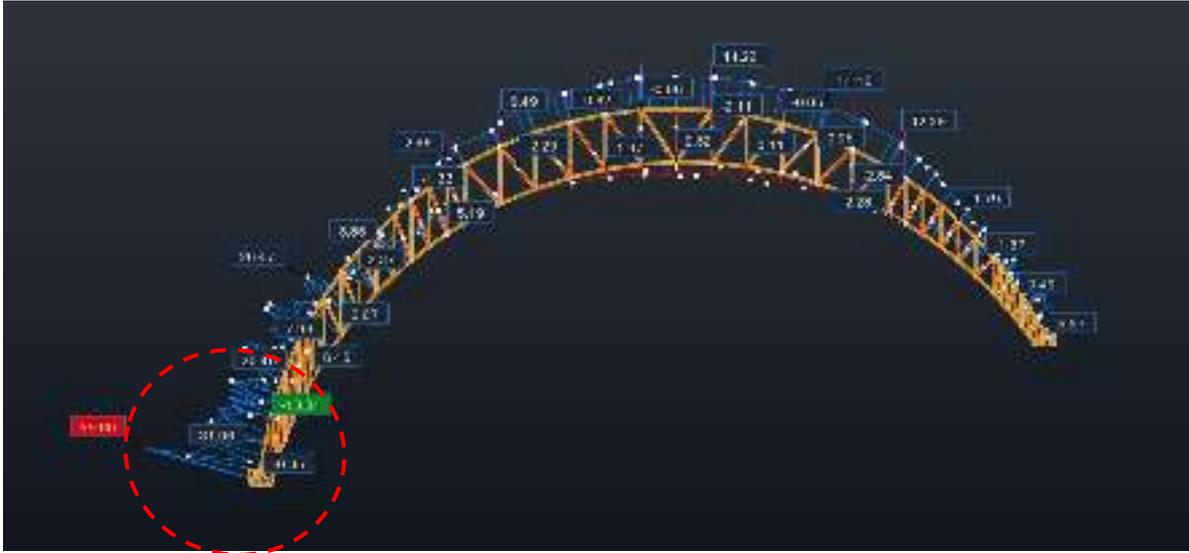
On observe sur la figure ci-dessus que la structure va s'aplatir au-dessus. Les déformations les plus importantes auront lieu dans la zone rouge.



Forces s'exerçant sur l'axe x.



Contrainte maximale s'exerçant sur la structure.



Les valeurs des contraintes maximales et la déformée indiquent que la rupture aura lieu au niveau du pied gauche de la structure (cercle rouge). En effet, la déformation est trop importante pour que la structure en bois résiste.

Conclusion

Nous constatons à l'issue de ces deux analyses (modélisation informatique et vidéo de la casse) que la courbure du pont n'est pas identique dans les deux cas. Cela peut être justifié par les hypothèses simplificatrices que nous avons faites. En effet, nous avons modélisé toutes les liaisons par des encastremets. Or, les défauts de certains points de colle peuvent laisser penser que ce sont en réalité des rotules.

De plus, nous n'avons pas modélisé le tablier et avons donc modélisé le poids appliqué sur le tablier par des forces ponctuelles aux points d'attache des cordes. On n'a donc pas pris en compte l'élasticité des cordes ni celui du tablier. Cela peut expliquer la différence entre la modélisation et le comportement réel.

Notre modélisation semble toutefois pertinente car l'amplitude des déformations modélisées est cohérente avec la réalité. Les points les plus fragiles correspondent bien à la base des arches, là où nous avons augmenté le nombre de traverses.

Les difficultés rencontrées ont été multiples. Dès la phase de conception du pont nous avons dû faire des choix alors que nous n'avions aucune connaissance en termes de résistance des matériaux.

D'autre part, lors de la phase de modélisation, la maîtrise d'un logiciel nouveau a été une réelle difficulté. Nous avons ...

Une piste d'amélioration serait de réaliser une maquette plus « propre ». En effet, certains points de colle étaient défailants et le fait que l'ouvrage soit un peu court a été un handicap.