

CHATEAU Carine  
ROBIN Olivia

Projet Modélisation d'un Franchissement

1AG4

09/06/07

## Sommaire :

- I) Présentation de l'ouvrage
- II) Synthèse et analyse de la casse
- III) Modélisation sur le logiciel Robot
- IV) Résultat de la modélisation sur Robot

## 1) Présentation de l'ouvrage

Avec l'aide de deux élèves de l'école d'architecture, nous devions construire un ouvrage de franchissement avec une différence de niveau entre les deux embases de 20 cm.

Après plusieurs dessins, nous avons opté pour un pont ayant la forme d'un arc arrondi. Sachant que les deux embases seraient bloquées lors de l'essai, nous avons décidé de solliciter au maximum cet effort de reprise de la force exercée par les poids en créant des embases plus larges que la flèche.

Notre pont est en effet constitué de deux arcs, chacun étant doublé et renforcé par des petites barres transversales. Ces deux arcs sont reliés entre eux par d'autres barres en croisillons. Ils sont donc plus rapprochés au niveau de la flèche qu'à la base.

Entre ces deux arcs et à peu près au tiers de la hauteur du pont, en partant de la flèche, nous avons posé le tablier. Celui-ci tient au centre (c'est-à-dire en dessous des arcs) par un système de ficelles (petites cordelettes à deux brins de  $10^{-7}$  m<sup>2</sup> de surface). Pour attacher ces ficelles, nous avons renforcé le tablier par le dessous en lui collant des baguettes perpendiculaires à sa plus grande dimension et dépassant sa largeur d'environ 1cm de chaque côté. A l'autre extrémité, ces ficelles sont directement rattachées à la structure du pont, c'est-à-dire ici, l'arc près de la flèche. Au dessus des arcs, le tablier tient, par le dessous, par des barres renforts, liens entre l'extrémité du tablier et les arcs, par collage.

Il faut noter que l'ensemble du pont est réalisé avec des baguettes de bois en Balsa Samba. Ces baguettes sont de sections variables mais de façon générale, une section est de l'ordre de 3mm\*7mm. Certaines sont plus plates et plus ou moins épaisses, d'autres ont une section très proches du carré et sont assez fines.

Le tablier est une grande planche, de 10cm de large et d'environ 3mm d'épaisseur, que nous avons coupée afin qu'elle atteigne environ la longueur de 1m.

Les arcs ont été faits avec des baguettes plates et ont été renforcés par des croisillons avec ces mêmes baguettes alors que les baguettes sous le tablier sont plutôt de section carrée. Nous avons également pris garde à ne pas faire les arcs avec une seule et même baguette que nous aurions fait fléchir. Nous avons donc découpé des morceaux de balsa de 7 cm environ et accolés les uns aux autres pour former l'arc. Ceci garantit une bien meilleure résistance, dès lors que le collage est correct, bien que cela présente aussi l'inconvénient d'alourdir la structure.

Voici quelques photos de la structure :



Vue du pont en perspective





Vue de dessus du pont

Vue de côté du pont

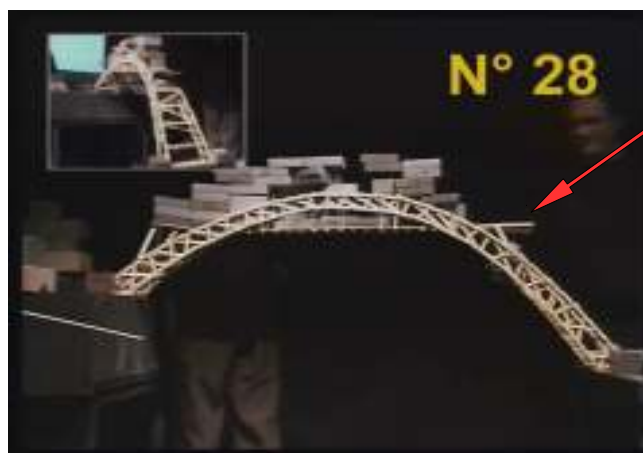


## II) Synthèse et analyse de la casse

Notre pont à la fin de la conception pesait 430g, ce qui est sûrement dû, comme il a été dit précédemment, aux nombreux collages qui, en revanche ont permis une grande solidité du pont.

Nous avons calé notre pont à environ dix centimètre du bord de la table ce qui était la limite autorisée. Puis nous avons posé des poids de chaque côté permettant de maintenir le pont bien droit.

Durant l'essai de chargement, les charges ont été réparties de manière uniforme sur toutes la longueur du tablier hormis près du côté droit sur la photo du pont car, durant le transport, une des baguettes de Balsa soutenant le tablier s'était décollée. Il y avait donc une faiblesse non désirée de ce côté là et le moindre poids à cet endroit aurait brisé le tablier et aurait pu entraîner la chute de toute la structure.



Partie non chargée

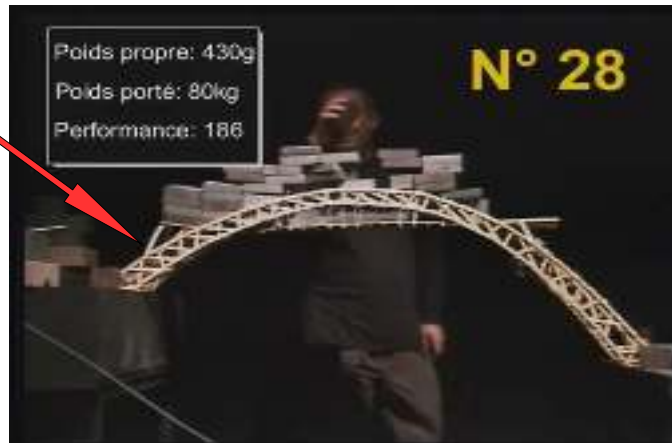
Au début, il n'était pas certain que notre pont résiste bien longtemps de part son aspect fin et élancé (la personne posant les poids était bien pessimiste...) mais en réalité l'assemblage des bouts de bois sur la structure de l'arc a permis une solidité importante.

Le pont a supporté 80kg ce qui donne donc une performance de 186.

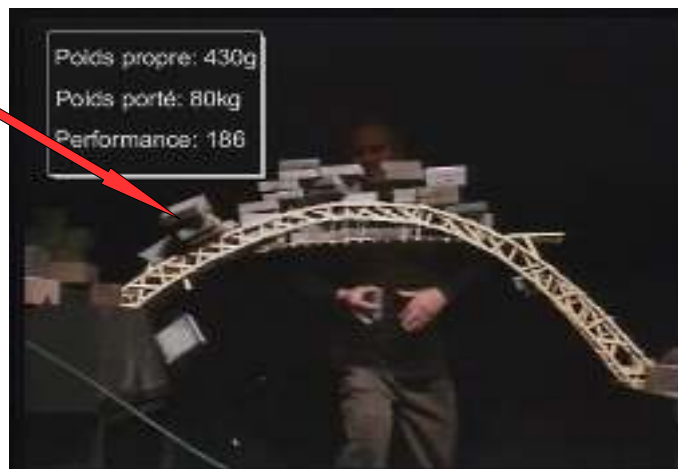
Alors que 20kg de poids avaient été posés, un léger bruit (faisant penser à une fissure de la structure) s'est fait entendre. Il est certainement dû à une cassure entre deux collages ou sur un des croisillons. Cependant, les efforts étant répartis sur les embases et les arcs étant relativement solides, 60 kg ont encore pu être chargés.

Au moment où le pont tombe, on observe un flambement important de la baguette qui soutient le tablier. C'est cette barre qui a lâché entraînant avec elle tous les poids. Puis, les poids étant ensuite tous localisés sur la partie centrale du pont (donc mal répartis), il y a eu cassure du côté où les poids avaient commencés à tomber.

Flambement de la  
barre d'appui du  
tablier



Les poids tombent  
en raison du  
déséquilibre  
causé par la perte  
de la barre qui  
soutenait le  
tablier



Puis le pont casse !!



On peut observer sur la vidéo un flambement du pont, ainsi que du tablier avant la casse. Le poids qui n'était pas réellement réparti sur la totalité (dû à la perte du soutien du tablier du côté droit) est sûrement à l'origine de ce flambement.

Les fils que nous avons disposé sont toujours restés en traction et n'ont donc pas cassés.



### III) Modélisation sur le logiciel Robot

Nous avons commencé par modéliser notre pont en 3 dimensions, pour deux raisons :

- notre pont était plus large en bas que en haut et nous voulions pouvoir modéliser ce report de charge
- durant la casse il y a eu un léger flambement que nous souhaitions pouvoir modéliser.

Nous avons placé en premier lieu tous les noeuds d'une arche du pont en entier . Nous avons ensuite placé les barres entre chaque noeud. Ces barres ont été modélisé en entrant dans le matériau utilisateur les données suivantes :

$E=5420\text{MPa}$ ,  $\nu=0,4$  et la rupture est à  $30,4\text{MPa}$ . (ces propriétés étant celles du Balsa Samba).

Puis nous avons créé un profilé particulier correspondant au profilé que nous avons utilisé. Nous avons ensuite construit l'autre arche par symétrie d'axe x. Ainsi, nous avons deux arches que nous avons reliés avec les mêmes barres en croisillons comme nous l'avions fait lors de la construction du pont.

Nous avons ensuite construit le tablier dans la structure, en gardant le même matériau mais en modifiant le profilé pour avoir la largeur souhaité de 10cm. Nous avons ensuite créés des noeuds aux extrémités (afin d'avoir la longueur souhaité de 1m20), ainsi que des noeuds sur le tablier afin de pouvoir mettre les ficelles.

Les ficelles ont été modélisées par le même matériau mais en prenant un profilé différent. Pour cela on adapte leur surface afin d'avoir les propriétés équivalentes de la ficelle : on devait avoir :  $ES=1,89273*10^{-3}\text{MPa}$  avec  $E=5420\text{MPa}$ . On doit donc avoir une surface équivalente de :  $2,19*10^{-7}\text{m}^2$  ainsi un diamètre de :  $5,28*10^{-2}\text{cm}$

On prend donc un profilé à section circulaire ayant ce diamètre.

Le logiciel Robot a ensuite tenté d'effectuer les calculs d'efforts et de contrainte au sein du pont. Mais celui n'y parvenait pas : message d'erreur ...

Nous avons d'abord pensé qu'il s'agissait d'un problème d'intersections : en effet, le tablier passait « à travers » la structure sans que l'on ait défini de points particuliers. En effectuant, la manipulation afin que le logiciel considère les différentes intersections, nous avons remarqué qu'il n'en considérait aucune. Nous en sommes donc arrivé à la conclusion que la définition de la barre n'était pas correcte. Et pour cause! Lorsqu'on définit une barre avec un profilé particulier de largeur 10cm, le logiciel ne considère toujours que l'axe neutre (donc ci le milieu de la barre!) c'est pourquoi nous ne pouvions définir aucun noeud sur les bords du tablier. Face à ce problème et ne sachant pas le résoudre (malgré l'aide d'une professionnelle) nous avons recommencé la modélisation, mais en 2D cette fois-ci !

En 2D l'acquisition des points est identique, ainsi que la construction des barres

et du tablier.

Nous avons ensuite pu imposer la force :

Force linéique sur chaque morceau de barre de valeur sur l'axe z :  $-0,0086$  kN/cm

en effet : poids supporté : 80kg

force :  $800\text{N} = 0,8\text{kN}$

force linéique pour une longueur de tablier de 93cm :  $0,8/93$

d'où le résultat.

On peut ensuite calculer les différents efforts, ainsi que les différentes contraintes appliquées aux noeuds de la structure.

#### IV) Résultats de la modélisation sur Robot

Les diagrammes des efforts présentent un maximum au niveau des barres très proches du lieu de cassure. En effet, en valeur absolue, l'effort selon l'axe x est maximal sur les barres 98 et 99, soit au niveau de l' « intersection » entre le tablier et les arcs du pont. L'effort selon (-z) le plus important se trouve au niveau de ces mêmes barres (barres 99 et 97). ( sur la modélisation, c'est l'extrémité droite du tablier et gauche sur la vidéo)

Le moment (selon y) est le plus mobilisé au niveau de l'autre extrémité du tablier, soit à la barre 79. Ceci correspond au bras de levier des efforts précédemment cités, et il est donc naturel qu'il soit plus important au plus loin de ces efforts. Ce moment a induit une torsion du tablier, visible au moment de la casse (également au niveau des baguettes qui le soutiennent) et qui correspond aussi peut-être au bruit de fissure que l'on a pu entendre à 20kg de charge.

Il en va de même pour le diagramme des contraintes. Elles sont plus sollicitées au niveau des deux intersections entre le tablier et les arcs. Ceci s'explique par le fait que le tablier repose sur les arcs en ces endroits, on a donc une liaison d'appui, bien difficile à reprendre vu la constitution du pont, ses matériaux et son poids, alors qu'au centre, le tablier est tenu par des ficelles qui reprennent très bien les efforts de traction. Les contraintes sont donc, au niveau des intersections arcs-tablier (barres 78,79, 97,98,99,...), dirigées vers le haut, c'est-à-dire de sens contrainte au chargement ce qui est cohérent.

Ainsi, la modélisation théorique est en accord avec la casse pratique du pont. On peut donc penser, vue la pratique et la théorie, que le pont a cassé pour des raisons mécaniques et non en raison d'un défaut d'assemblage.

Lors de la conception du pont, le temps a manqué pour poser de façon correcte le tablier sur la structure. Il est clair qu'il n'est pas nécessaire de poser un très grand nombre de ficelles (l'expérience nous l'a appris) mais les baguettes soutenant les extrémités du tablier étaient indispensables.

Aussi un système plus efficace, plus solide et évitant le flambement observé sur ces baguettes aurait pu être mis en place. Etant donné que les ficelles reprennent très bien les efforts de traction, nous aurions pu poser le tablier plus bas et n'utiliser quasiment que des ficelles pour le tenir (sauf aux intersections arcs-tablier). Cependant cette solution aurait probablement donné moins d'esthétisme au pont.

Enfin, il est regrettable que le point de colle soutenant la baguette sous le tablier, du côté droit sur les photos, ait lâché car le pont aurait peut-être pu supporter plus de poids si la baguette avait été positionnée correctement. Ces système étant défaillant, il aurait dû être bien plus renforcé... La performance de 80 kg de notre pont est donc certainement grandement due à la construction de la structure (arcs renforcés, doubles, créés par des assemblages de petites baguettes, et embases plus larges que la flèche).