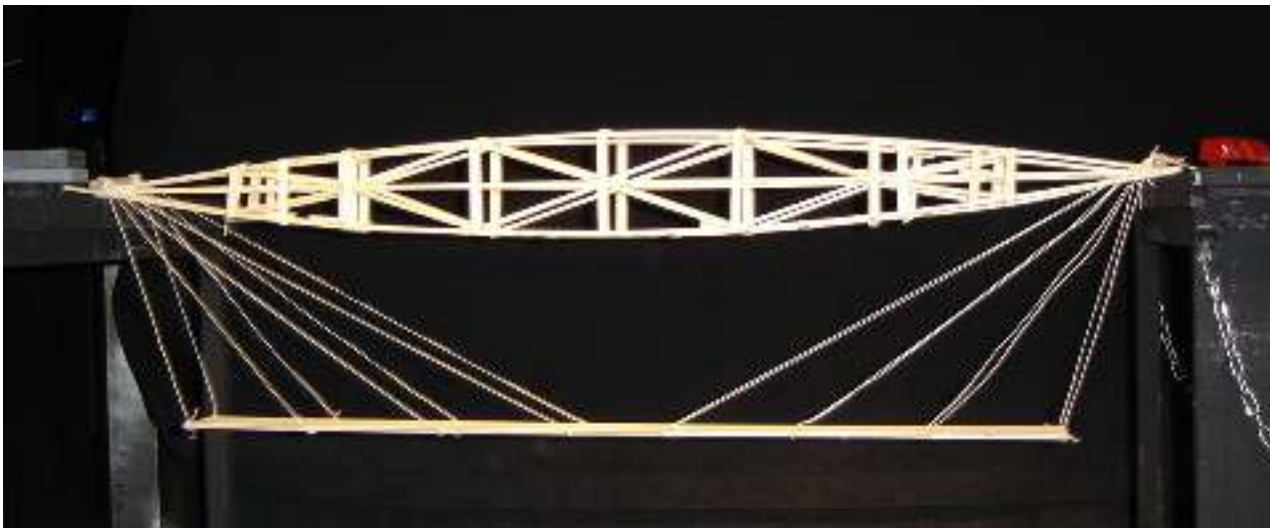


Florent BACCHUS
Emilie MORDACQUE

1A groupe 8
Eric Larue

Résistance des matériaux

Casse des ponts





28 juin 2005

TABLE DES MATIERES

I Présentation de l'ouvrage

1. Principes généraux

La journée aux Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau avait pour objectif, outre de travailler en équipe pluridisciplinaire (composée d'architectes et d'ingénieurs en devenir), de juger des liens entre les formes et leurs performances mécaniques, grâce notamment à l'observation de leur comportement sous charge jusqu'à la ruine.

Le but du jeu consistait à réaliser un ouvrage capable de franchir un vide de 1,20 m en supportant la plus grande charge possible et avec le moins de matière possible.

Il va sans dire que l'aspect esthétique et l'aspect technique avaient une importance égale, à la différence près que l'appréciation du premier est par nature plus subjective.

2. Principes de construction

Avec ses 297 grammes, le franchissement fait partie de la catégorie "assez léger".

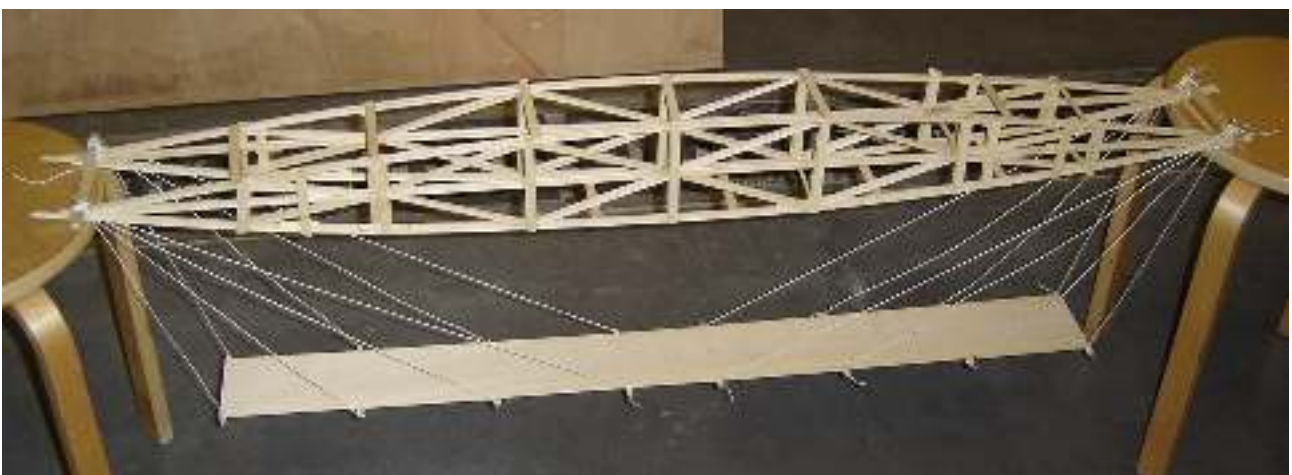
Nous avons d'abord étudié la possibilité de construire un pont suspendu à deux pylônes placés de part et d'autre du vide. Mais il était évident que les pylônes seraient attirés vers le vide. Pour éliminer cette déformation, il fallait intercaler un buton entre les pylônes. Alors, les pylônes reprendraient uniquement un effort vertical. Celui-ci ne composant qu'une partie du chargement (le reste serait repris, en compression, dans le buton) les pylônes représentaient beaucoup de matière pour peu d'effort repris. Nous avons donc décidé que la structure serait composée uniquement du buton qui serait posé sur le banc de casse.

Précisément il s'agit d'une plateforme accrochée par une série de ficelles aux extrémités du dispositif.

Le mode d'accrochage du tablier aura tendance sous charge à rapprocher les deux extrémités. Pour cela a été conçu le buton de telle sorte qu'il soit peu déformable grâce à une triangulation dans le plan vertical. Ce buton est constitué par une forme plane en amande qui génère un solide par un doublement de celle-ci et un ensemble de poutres horizontales servant de liaisons entre les deux.

A l'inverse, le dispositif pour l'accroche (une seule épaisseur de ficelle) et le tablier sont destinés à être déformés assez doucement sous charge.

Le tout repose sur deux appuis aux extrémités du buton.



Le franchissement en question

II Compte-rendu de l'essai

1. Mode de fonctionnement et points faibles

Comme prévu, le buton travaille en compression. Il est donc sujet au flambement.

La forte triangulation dans le plan vertical contre ce risque de façon très satisfaisante : tout au long de l'essai, le buton ne se déplace pas dans ce plan (du moins tant que le franchissement porte son nom avec légitimité).

En revanche, l'absence de triangulation dans le plan horizontal se solde par un flambement généralisé, ce qui montre ainsi cruellement le rôle de cette technique efficace.



Flambement dans le plan horizontal

Le second point faible, comme dans la plupart des ouvrages, se trouve au niveau des appuis. Il s'agit donc de surveiller le cisaillement au niveau des extrémités.

Enfin, le dispositif d'accroche semble peut-être trop léger. Un doublement des ficelles aurait pu être souhaitable.

2. Chargement

Dire que le chargement se fait de façon uniforme est exagéré, mais il est tout du moins réalisé de façon symétrique par rapport au plan moyen du franchissement et à peu près par rapport au plan vertical orthogonal passant par le centre de gravité.

Il consiste en la pose successive de charges de 2 kg.

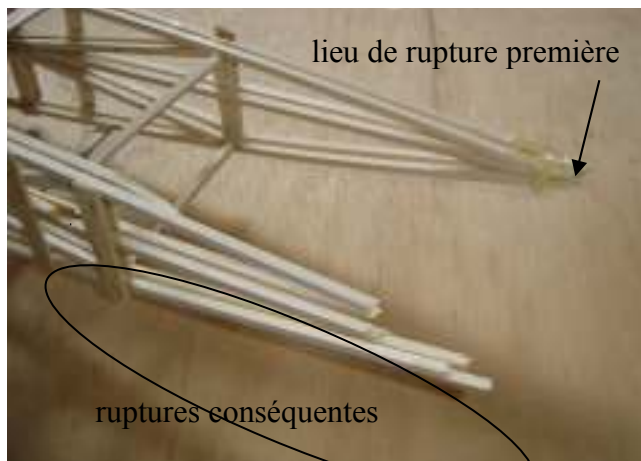
23 blocs et quelques secondes plus tard, l'ex franchissement rejoint le sol. Il a tenu 46 kg.

3. Mode de ruine

Ce n'est pas le flambement qui a eu raison du franchissement, bien que ce dernier était important, comme il a été vu plus haut.

En effet, c'est au niveau des appuis qu'il convient de chercher les coupables.

Il y a rupture nette sur un des appuis, ce qui entraîne dans la foulée la rupture des poutres attachées à l'appui voisin, provoquant ainsi la chute du dispositif.



Extrémité rompue



Extrémité intacte

La structure étant symétrique, aux erreurs de construction près, la rupture préférentielle sur l'une des extrémités peut s'expliquer par l'asymétrie des appuis. Du côté de la rupture, la poutre soutenant les ficelles ne repose pas au-dessus du plateau support, ce qui est le cas de l'autre côté.



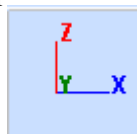
Détail de l'appui où se produit la rupture

III Présentation de la modélisation

1. Etude plane

Une première simplification de la modélisation consiste à travailler en deux dimensions. La casse du pont montre que le problème caractéristique de la 3D est le flambement, lequel n'étudie pas le logiciel ROBOT. Ce choix est donc pertinent.

Le plan de l'étude est le suivant, et ce pour toutes les figures présentées ensuite :



L'unité métrique de base est ramenée à l'échelle de la structure : le cm.

2. Poutres, sections et matériaux

Poutres

La structure est définie comme un assemblage de poutres où tous les nœuds intérieurs sont des encastremements. En vérité, il aurait semblé intéressant de définir des articulations entre les poutres en bois et les “poutres” en ficelle, mais l’ignorance d’un certain nombre de possibilités du logiciel ROBOT a porté ses fruits.





Matériaux

Deux matériaux participent à la construction :

- le bois massif, caractérisé par $E = 6500 \text{ MPa}$ et $\nu = 0,4$
- la ficelle, caractérisée par $E = 1940 \text{ MPa}$ et $\nu = 0,4$

Sections

La définition de 4 sections a été réalisée dans le but de se rapprocher de la construction réelle :

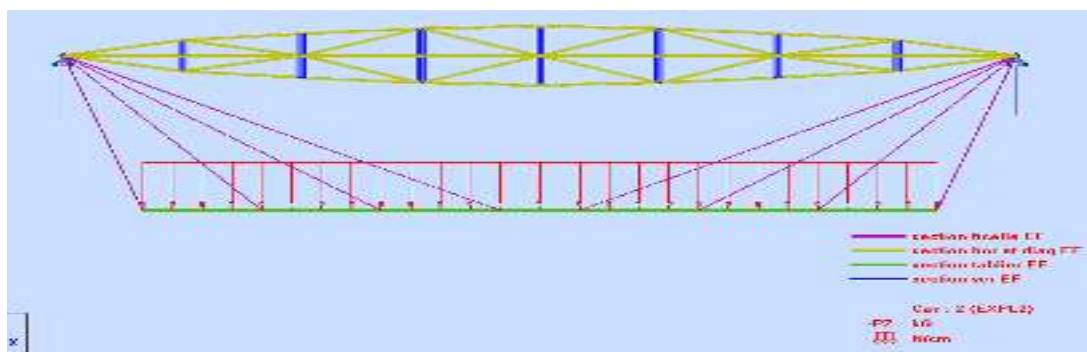
 de $De = 0,1 \text{ cm}$	 $b \quad d \quad b$ h $b = 0,4 \text{ cm}$ $h = 0,4 \text{ cm}$ $d = 0,2 \text{ cm}$	 h b $b = 0,4 \text{ cm}$ $h = 0,4 \text{ cm}$ (choix arbitraire de représentation du tablier)	 h $b \quad d \quad b$ $b = 0,2 \text{ cm}$ $h = 1 \text{ cm}$ $d = 0,4 \text{ cm}$
Section ficelle	Section bois (poutres horizontales ou obliques)	Section bois (tablier)	Section bois (poutres verticales)







3. Appuis et chargement

Pour la modélisation a été considéré un chargement uniforme sur le tablier, pris égal à 460 N.m^{-1} ou $4,6 \text{ N.cm}^{-1}$, ce qui correspond à la charge maximale supportée expérimentalement rapportée sur une poutre carrée de $0,4 \text{ cm}$. On aurait pu la diviser par 2.

Les deux appuis sont simples : le déplacement suivant l’axe Z est bloqué.

4. Modèle

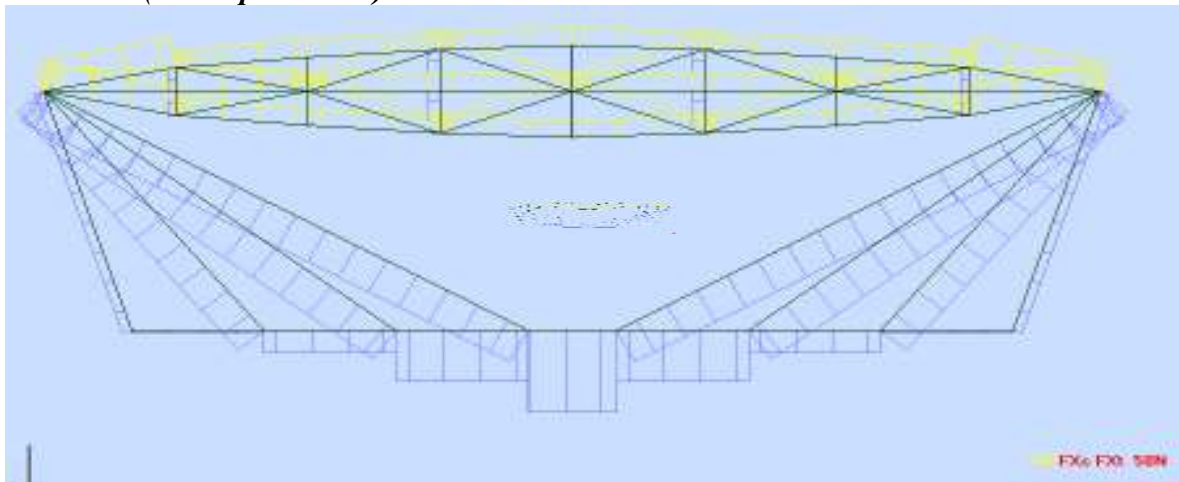


	section ficelle
	section bois (poutres horizontales ou obliques)
	section bois (tablier)
	section bois (poutres verticales)
	charge uniforme sur le tablier ($4,6 \text{ N.cm}^{-1}$)
	forces de réaction aux appuis : $231,04 \text{ N}$

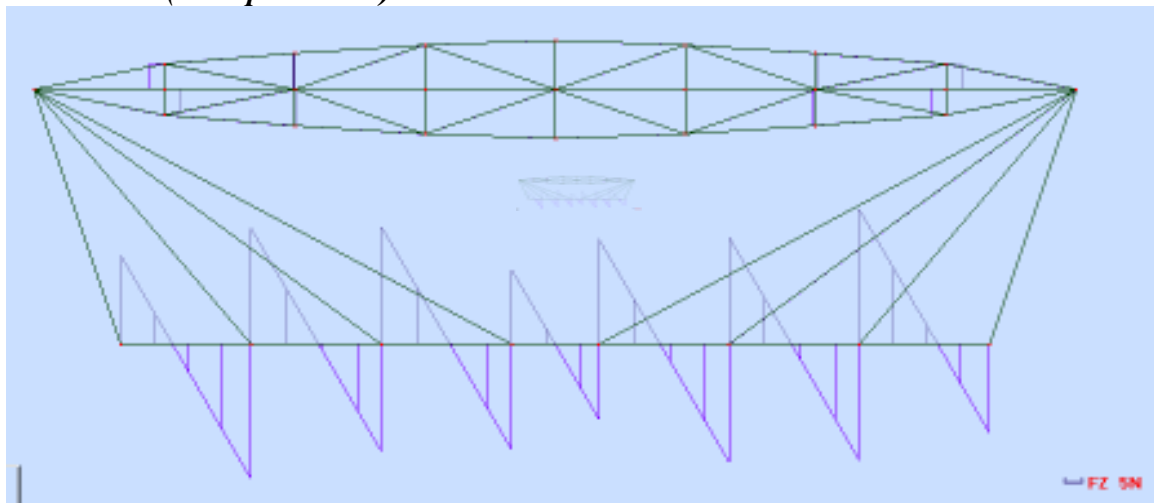
IV Résultats de la modélisation

1. Diagrammes des efforts

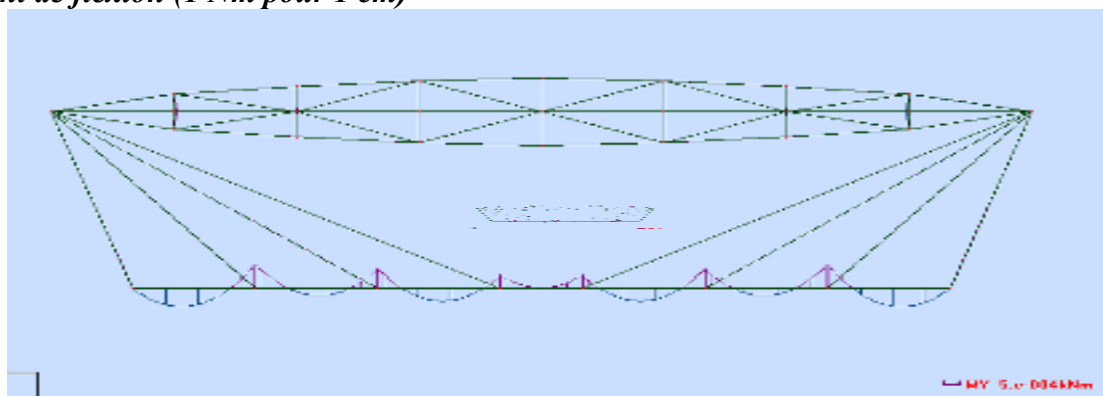
Effort normal (100 N pour 1 cm)



Effort tranchant (10 N pour 1 cm)



Moment de flexion (1 Nm pour 1 cm)

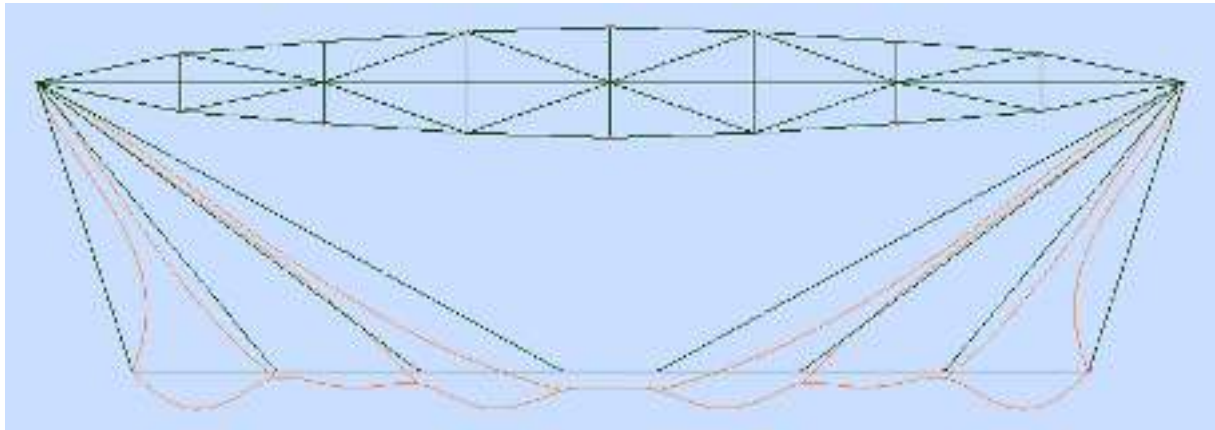


On remarque que le moment de flexion est clairement négligeable devant les autres efforts, et que c'est l'effort normal qui est prépondérant.

On remarque aussi que l'effort normal est bien réparti sur l'ensemble du buton. Nous avons donc affaire à un buton de grande qualité.

2. Déformée

La déformée est censée être à l'échelle de la structure.



V Analyse des résultats

1. Lieu de rupture

La modélisation sur Robot ne semble pas très lisible. Le problème du flambement a déjà été radié de la modélisation. La rupture aux appuis semble elle aussi délicate à observer dans le modèle, puisque dans la réalité la rupture se produit sur un point "indéformable", toutes proportions gardées.

2. Déformation

Il est toutefois notable que le buton ne se déforme pas, ce qui répond à la fois au but recherché et à l'expérimentation.

En revanche, ROBOT donne une allure de la déformée du modèle qui ne correspond pas du tout à la réalité, comme le prouve la photo ci-dessous. La ligne orange donne l'allure du tablier sous charge, tandis que la ligne jaune montre l'horizontale. En bleu turquoise, les ficelles semblent plutôt tendues. Sans doute est ce un problème de non rigidité des ficelles. Cependant toutes les ficelles travaillent en traction : comment une telle déformée (courbe) est-elle donc possible ?



VI Retour sur la conception initiale

1. Triangulation

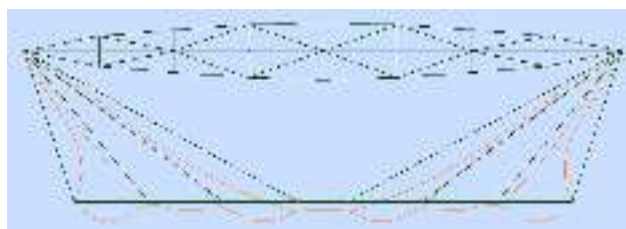
L'expérimentation a montré qu'il était nécessaire de trianguler à la fois dans le plan vertical et dans le plan horizontal afin d'éviter le flambement. Dans ce cas, l'utilisation de poutres simples pour la triangulation verticale est peut-être suffisante.

2. Mode d'accroche des ficelles

Le buton travaille uniquement en compression d'une part. Les nœuds sollicités très fortement par le chargement du tablier sont ceux des appuis d'autre part. On pourrait donc penser que l'accroche des ficelles répartie sur le buton améliorerait les performances de la structure. Toutefois, le logiciel ROBOT ne semble pas confirmer cette hypothèse.



Modèle fictif



Modèle initial

En effet, un tel raisonnement est une « hérésie », pour reprendre le terme de l'un des membres du binôme, désireux de rétablir la vérité. Le buton est fait pour travailler en compression, donc la tension des ficelles transforme le poids vertical en tension reprise horizontalement en compression dans le buton. En écartant les ficelles, le membre du binôme étourdi transmet l'effort quasi à l'identique. Le buton est alors chargé verticalement aux différents points d'appuis : il ne travaille plus en compression.

3. Renforcement des appuis

On a vu comment le franchissement avait fini sa vie. Une solution consiste donc à renforcer les appuis, ce en diffusant l'effort tranchant présent sur les extrémités, par le biais des appuis : d'une part en veillant à les placer au-dessous des supports des ficelles, d'autre part en passant d'un appui ponctuel à un appui surfacique.

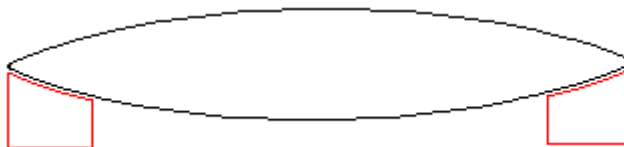


Schéma du buton avec appuis surfaciques (en rouge)

Remarque : En fait, la modélisation effectuée dans ROBOT respecte le premier principe énoncé ci-dessus (appui sous le point d'accroche des ficelles). Il aurait peut-être fallu décaler les appuis afin d'observer éventuellement un comportement différent en modélisation. Néanmoins, cette idée faisait partie du principe du franchissement, et c'est la pratique qui en a voulu autrement.