

ETUDE ET CONCEPTION D'UN VELO EN CARTON OU EN BAMBOU



Etudiants :

Salem AKSIL
Géraldine BETEMPS
Florent GONCALVES
Julie LHOMME
Lucie MECERODOVA
Noélie MIALHE

Enseignant-Responsable du projet :
Thomas BRETEAU

Date de remise du rapport : 19/06/2017

Référence du projet : STPI/P6/2017 – 052

Intitulé du projet : *Etude et Conception d'un Vélo en Carton ou en Bambou*

Type de projet : *Expérimental*

Objectifs du projet :

Notre projet a pour but de réaliser un vélo avec des matériaux de récupération. Nous avons choisi d'utiliser du bambou car il s'agit d'un matériau accessible et aux propriétés surprenantes. Ci-dessous, les différents objectifs :

- Recherches théoriques
- Etude de l'architecture du vélo et des efforts auxquels il est soumis ;
- Détermination des propriétés mécaniques du bambou ;
- Conception et réalisation du vélo en bambou.

Mots-clefs du projet :

Vélo – Bambou – Conception - Expérimentation

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : /

TABLE DES MATIERES

Introduction	5
I. Méthodologie / Organisation du travail	6
II. Travail Réalisé	7
A. Recherches, travail préliminaire sur le bambou	7
1. Propriétés mécaniques	7
2. Avantages	8
3. Inconvénients et problèmes liés à l'utilisation du bambou.....	8
B. Modélisation du vélo en bambou sur SolidWorks	9
C. Essais expérimentaux de traction	10
D. Conception du vélo en bambou	13
1. Déroulement de la conception du vélo	13
2. Problèmes rencontrés.....	17
Conclusions et perspectives	18
Bibliographie.....	19
Annexes.....	20

INTRODUCTION

Au cours du 4ème semestre de STPI à l'INSA de Rouen, nous avons l'opportunité de mener en groupe un projet scientifique. Nous avons pour notre part choisi le projet proposé par Thomas Breteau : l'étude et la conception d'un vélo en carton ou en bambou.

Depuis l'apparition de la draisienne en 1817 ou du premier vélo à pédales en 1861, le vélo n'a cessé d'évoluer et de se perfectionner. Aujourd'hui le vélo est un moyen de transport très répandu dans de nombreux pays. Il peut à la fois servir pour un usage quotidien, pour un loisir ou pour le sport. Il est donc intéressant de se pencher de plus près sur le fonctionnement et la conception d'un tel objet, très largement employé.

En plus d'étudier la conception et l'architecture d'un vélo, ce projet a pour but de réaliser un vélo avec des matériaux simples comme le carton ou le bambou. Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser du bambou pour ses avantages et ses propriétés mécaniques que nous détaillerons plus tard dans ce rapport.

Dans un premier temps, nous détaillerons notre méthodologie et notre organisation. Puis, nous expliquerons le choix du matériau utilisé et enfin nous aborderons les différentes étapes de conception du vélo.

I. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour réaliser ce projet d'étude et de conception, nous étions un groupe de six.

Lors de la première séance, nous nous sommes posés la question du matériau que nous allions adopter pour réaliser le vélo. En effet, Monsieur Breteau nous a laissé la possibilité de choisir entre deux matériaux : le carton ou le bambou. Nous nous sommes donc séparés en deux groupes pour rechercher les avantages et les inconvénients de chaque matériau ainsi que les vélos qui avaient déjà été réalisés dans ces deux matériaux. Ayant trouvé des sites très détaillés sur la conception de vélo en bambou, nous nous sommes accordés sur ce matériau et avons défini un planning prévisionnel.

Lors des deux séances suivantes, nous avons cherché de quel diamètre les tiges de bambou devaient être afin de résister à la charge de l'utilisateur. Pour cela, Florent a modélisé sur SolidWorks le cadre de vélo.

Nous avons également commencé à rechercher où l'on pouvait commander des tiges de bambou sèches et de la résine Epoxy. Julie et Géraldine ont appelé deux entreprises et ont demandé des devis. Finalement, c'est Monsieur Breteau qui a fourni le bambou et commandé la résine ainsi que la fibre de verre car les délais et le coût de livraison étaient trop élevés.

Le reste des séances a permis :

- la réalisation du socle en bois permettant de maintenir le vélo : découpe, perçage, vissage, assemblage des pièces en bois ;
- la conception du fameux vélo en bambou : découpe de l'ancien cadre en métal, mesure et découpe des tiges de bambou, collage du bambou, assemblage du nouveau vélo en bambou ;
- les essais de tractions par Julie et Noélie ;
- la rédaction du rapport rédigé principalement par Julie et Géraldine, la création du poster par Lucie et le diaporama de la soutenance orale par Noélie et Salem.

Tout au long du projet nous étions motivés pour terminer le vélo en bambou à temps et c'est pour cela que nous étions tous impliqués pendant les séances. Nous avons décidé de travailler ensemble sur le vélo plutôt que de faire plusieurs sous-groupes. Nous nous sommes réunis le mardi midi ou le mercredi après-midi pour avancer sur le projet plus rapidement. Vous trouverez en annexe l'organigramme de notre répartition du travail.

II. TRAVAIL REALISE

A. Recherches, travail préliminaire sur le bambou

De par sa légèreté et son étanchéité à l'eau, le bambou possède de nombreuses utilités. Nous avons tous en tête l'image du radeau flottant en bambou, mais ce matériau est très largement employé dans de nombreux autres domaines comme : le génie civil, pour la fabrication de ponts, de passerelles, etc. ; le secteur automobile pour le placage ou des pièces telles que le volant ou les poignées ; le secteur ferroviaire ; l'aviation où on le retrouve dans le lamellé-collé ou du contreplaqué plus léger ; ou aussi dans la marine dans les mâts composites. Associé à de la terre crue, à de la bauge, du torchis ou de l'adobe, le bambou permet également de construire des murs ou des cloisons par exemple.

Ainsi, aujourd'hui le bambou semble s'imposer comme une des solutions idéales, renouvelables et écologiques dans la construction d'habitat.

1. Propriétés mécaniques

La tige (ou chaume) de bambou est creuse, cylindrique et séparée par des nœuds. C'est cette géométrie qui donne à ce matériau sa rigidité et ses propriétés mécaniques. Le bambou est un matériau souple qui amorti les chocs et ne se brise pas, ce qui lui donne un atout considérable dans de nombreux domaines.

Voici un tableau récapitulatif des caractéristiques mécaniques du bambou :

	Contrainte maximale (MPa)	Contrainte moyenne (MPa)	Module d'Young (MPa)
Traction	240	228	11500
Compression	80	61	-
Flexion	100	90	14000

Néanmoins, il ne faut pas oublier que les propriétés mécaniques du bambou dépendent de nombreux facteurs tels que :

- sa teneur en eau ;
- sa masse volumique ;
- l'échantillon sur lequel on effectue les tests (s'il contient des nœuds) ;
- son diamètre ;
- son épaisseur ;
- son espèce.

De ce fait, nous effectuerons des essais de traction sur le bambou que nous allons utiliser pour vérifier que ses propriétés mécaniques concordent avec celles-ci et que notre bambou résiste aux contraintes auxquelles il sera soumis.

2. Avantages

Le bambou est un matériau renouvelable à l'échelle humaine. Il pousse très rapidement en un an et arrive à maturation au bout de trois ans. On peut ainsi l'exploiter pour la construction seulement quatre ans après sa plantation.

De plus, le bambou est totalement recyclable contrairement à la plupart des matériaux utilisés dans la construction. C'est une plante extrêmement résistante, dont la culture ne nécessite pas d'engrais. Les déchets de bambou peuvent servir à faire de l'engrais ou dans la culture d'autres végétaux.

Le bambou consomme plus de dioxyde de carbone que les arbres et libère 30% de dioxygène de plus. L'étroitesse de ses feuilles facilite l'infiltration de l'eau et son système racinaire particulier limite l'érosion des sols. Il participe ainsi à la préservation de l'environnement.

Enfin une construction en bambou nécessite cinquante fois moins d'énergie qu'une construction en acier et dix fois moins qu'une construction en ciment.



Le bambou est donc une plante aux mille vertus qui semble s'imposer sur le marché comme le matériau écologique et renouvelable du futur. Cependant sa culture et son utilisation dans la construction et dans le textile font apparaître quelques inconvénients.

3. Inconvénients et problèmes liés à l'utilisation du bambou

L'utilisation de ce nouveau matériau étant de plus en plus répandue, de nombreux trafics illégaux se développent et des matériaux de mauvaise qualité circulent de plus en plus sur le marché.

La demande croissante de bambou pose le problème majeur de la déforestation. L'industrie du papier, notamment, n'hésite pas à avoir recours à des méthodes invasives et scandaleuses pour acquérir du bambou à moindre coût. De même, l'utilisation du bambou dans l'industrie textile demande de nombreuses modifications extrêmement polluantes pour obtenir de la fibre de bambou et peu respectueuses de l'environnement en termes d'exploitation agricole.

De plus, l'irrégularité du diamètre des chaumes de bambou peut poser des problèmes lors de son utilisation. Cette variation est aléatoire suivant l'espèce, le sol, le climat ou la longueur de la plante mais aussi le taux d'humidité présent dans la tige. La teneur en eau influence les caractéristiques du bambou, en général un pied sec aura une résistance plus importante qu'un pied vert. Cette différence est d'autant plus marquée que la tige est jeune. Il est préférable d'utiliser le bambou lorsqu'il est complètement sec, son diamètre est alors minimal.

Il y a donc un fort besoin d'adaptabilité quand on passe à l'échelle de l'industrialisation et un besoin de main d'œuvre très qualifiée.

B. Modélisation du vélo en bambou sur SolidWorks

Avant de débiter le projet et de commander le bambou, il a fallu vérifier qu'il résisterait au poids d'un Homme et ainsi dimensionner les largeurs de bambou nécessaires à cela.

Florent a donc modélisé le vélo sous SolidWorks en essayant de respecter au mieux la géométrie réelle du vélo choisi par l'équipe tout en dimensionnant les diamètres du cadre par rapport aux tailles de bambou disponibles sur le marché, à savoir 40mm pour le cadre principal et 20mm pour les tiges arrières.

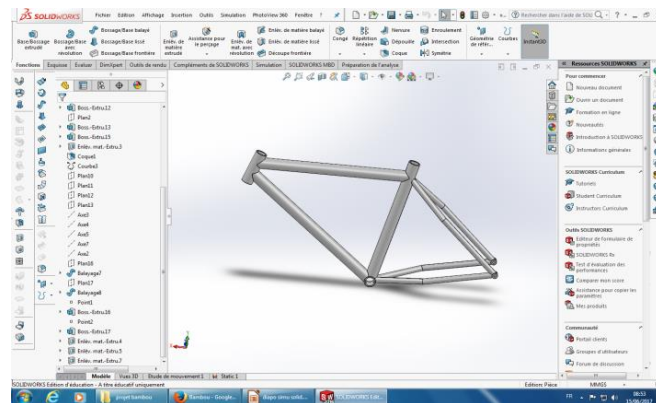


Figure 1 : Modélisation du cadre sur SolidWorks

Suite à la modélisation, Florent a appliqué au vélo les propriétés physiques du bambou pour ensuite réaliser des simulations afin de dimensionner le bambou.

Pour cela, il a réalisé un maillage le plus fin possible pour obtenir des résultats précis pour ensuite appliquer des forces sur le vélo à savoir :

- une force de 1000N (environ 100kg) perpendiculaire au cadre et appliquée au niveau de la selle.
- une seconde force de 500N (environ 50kg) au niveau du guidon.

Sans oublier d'appliquer une liaison pivot au niveau de l'axe de la roue arrière et une seconde au niveau de l'axe du guidon.

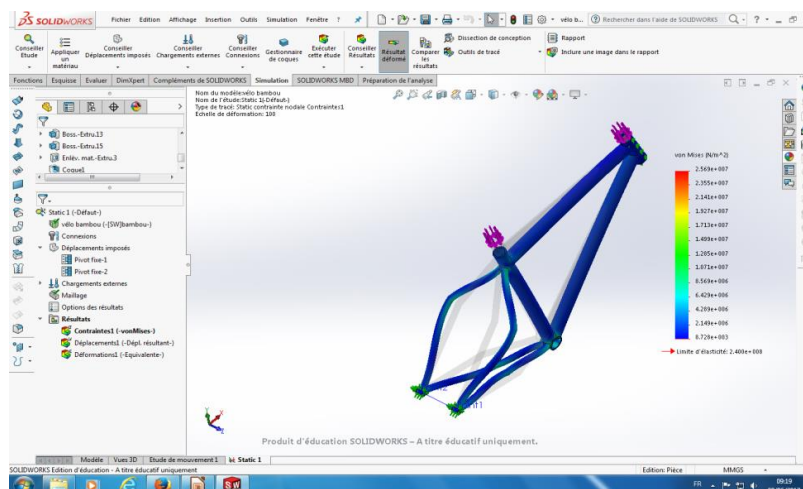
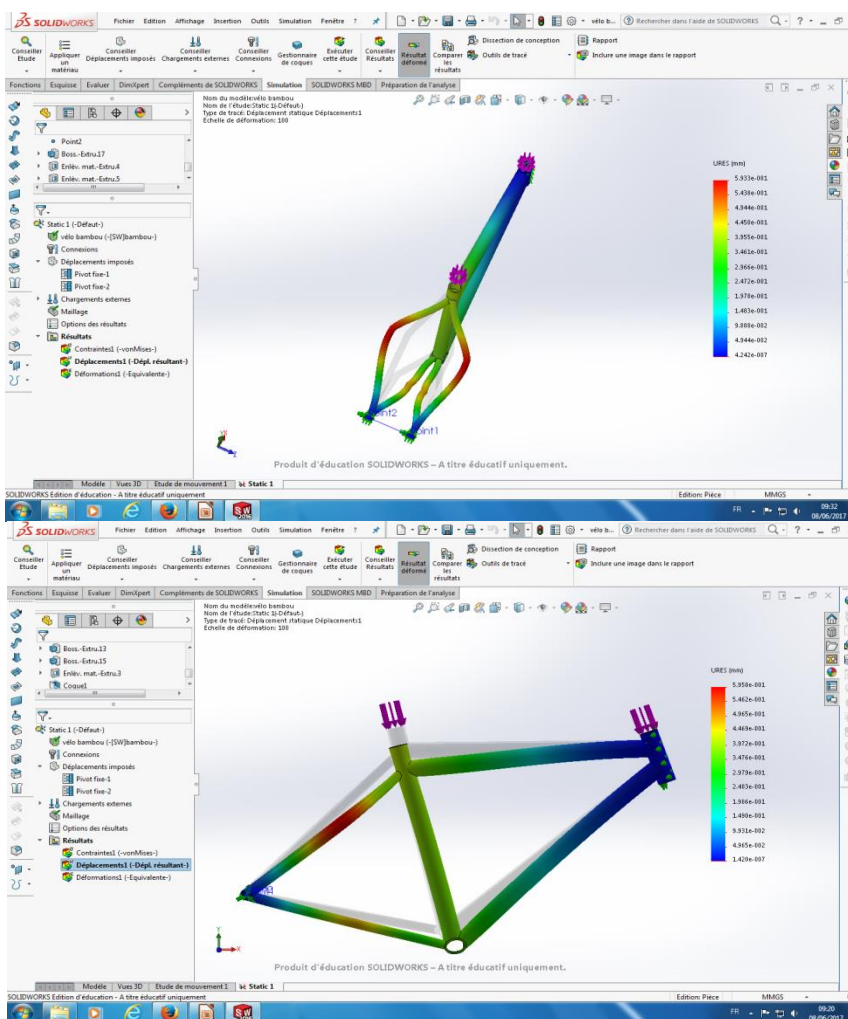


Figure 2 : Résultats de la simulation

On observe donc que la contrainte maximale subie par le cadre est inférieure à la limite élastique du bambou puisqu'elle est de $2,569.10^7$ N/m² contre une limite élastique de $2,400.10^8$ N/m².



Figures 3 et 3bis : Résultats de la simulation

Au niveau des déplacements, on s'aperçoit qu'ils n'excèdent pas 6.10^{-1} mm. Le dimensionnement a ainsi pu être validé ce qui nous a permis de débiter le projet.

C. Essais expérimentaux de traction

Toujours dans le but de déterminer à quelle contrainte notre vélo en bambou pourra résister, nous avons décidé -en plus de la modélisation du cadre sur SolidWorks - de réaliser des essais de traction sur des échantillons de bambou. Ainsi, nous pourrions connaître la limite élastique de notre matériau et donc en déduire ses propriétés mécaniques.

Dans un premier temps, il fut impossible de procéder aux essais directement sur nos tubes de bambou. En effet, les machines à notre disposition ne nous permettaient pas d'accrocher directement nos tubes



Figure 4 : Essai de traction sur une lamelle de bambou

aux embouts de traction. Nous avons donc décidé de commencer par faire des essais de traction sur de simples lamelles de bambou. Nous sommes ainsi allées à l'atelier pour découper nos lamelles et nous les avons fixées sur la machine.

Pour que notre étude soit fiable, nous avons procédé à des essais de traction sur cinq lamelles différentes. Cela s'est avéré très utile étant donné que les essais sur deux lamelles n'ont pas pu être considérés car elles furent endommagées par la machine avant que nous ayons pu enregistrer leurs données.

Le principe était donc de fixer, comme sur l'image ci-dessus, la lamelle sur la machine et ensuite de lancer l'étude sur le logiciel lié à la machine. Au bout de quelques instants, la lamelle, écartelée de part et d'autre par la machine, finit par lâcher sous la traction. Il suffisait par la suite de déduire de la force appliquée et du moment où la lamelle lâchait, la limite élastique de nos éprouvettes.



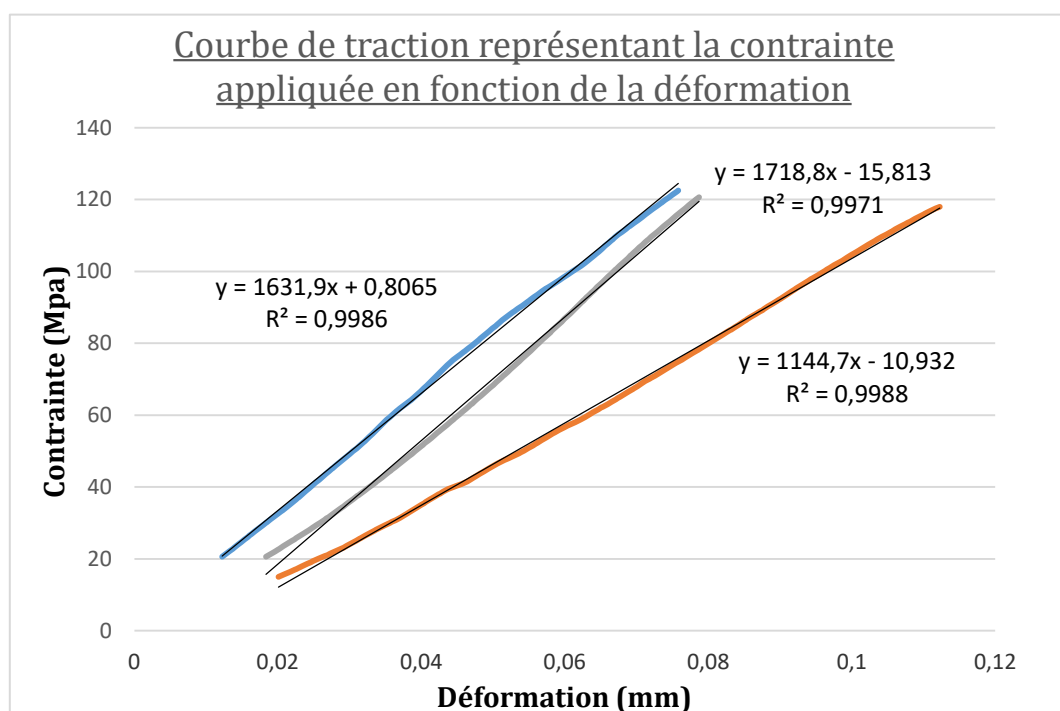
Figure 5 : Lamelle fissurée après l'essai

Le logiciel nous a donc fourni l'allongement des éprouvettes (en mm) en fonction de la force appliquée (en Newton) jusqu'à la rupture. Nous avons ensuite converti ces données.

On trouve la déformation avec la formule : $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ c'est-à-dire $\frac{\text{allongement}}{\text{longueur initiale}}$.

Et ensuite la contrainte en MPa avec : $\sigma = \frac{F}{S}$

Avec toutes les données de l'ordinateur nous avons ensuite pu tracer la courbe de traction :



Avec la loi de Hooke, il est ensuite facile de déterminer le module d'Young de nos lamelles de bambou. En effet, on sait que $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ainsi on trouve des modules d'Young de 1631,9 ; 1718,8 et 1144,7 MPa. Donc en moyenne, nos éprouvettes ont un **module d'Young de 1498,5 MPa**. Cette valeur est très différente de celles qu'il est possible de trouver sur internet. En effet, le module d'Young du bambou en traction se rapproche plus de 11500 MPa, il y a donc une puissance de 10 d'écart. Cette différence est due à la machine de traction, en effet, entre notre pièce et les mors, la machine est composée de pièces déformables (courroie, ressort...). Ainsi, la déformation de la pièce est surestimée car elle prend en compte l'allongement des composants de la machine. Il est normal que le module de Young expérimental soit inférieur à celui trouvé dans nos sources.

Pour ce qui est de la **limite élastique** de nos éprouvettes, elle semble avoisiner les **120 MPa**. Cette limite est inférieure à celle qu'on peut trouver en se documentant, mais cette différence est normale étant donné que les valeurs théoriques sont celles mesurées sur un bambou "entier", en comptant la forme cylindrique, les nœuds, etc.

Malheureusement, même si ces essais nous permettent d'avoir une idée sur la résistance de notre matériau, il est évident que sa géométrie joue un grand rôle sur sa solidité. Nous n'avons donc pas abandonné l'idée de réaliser nos essais sur nos tubes de bambou. Pour pallier le problème de fixation des échantillons aux machines, nous avons choisi de créer nous-mêmes les embouts qui permettraient de fixer les tubes aux machines. Ces embouts ont dans un premier temps été modélisés sur SolidWorks pour y indiquer les dimensions coïncident avec nos tubes de bambou.

Ainsi, nous avons pu fixer nos tubes de bambou sur la machine. Nous sommes allés dans les salles du département de Mécanique, car ils disposent de machines de traction plus puissantes et plus adaptées à nos essais. Celle que nous avons utilisée pouvait tirer nos échantillons avec une force allant jusqu'à 10 kN ! Il n'y avait donc aucune raison pour que nos tubes de bambou ne cèdent pas sous la traction.

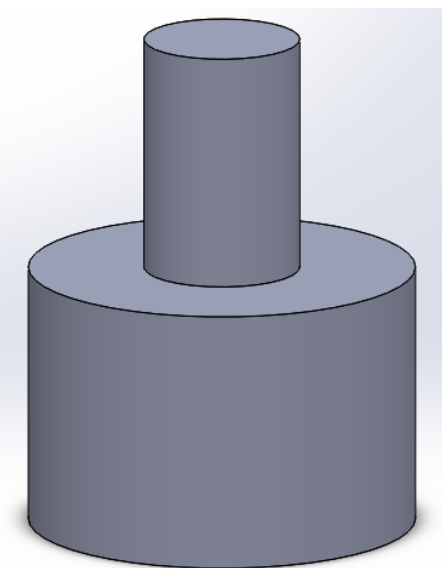


Figure 7 : Modélisation de l'embout

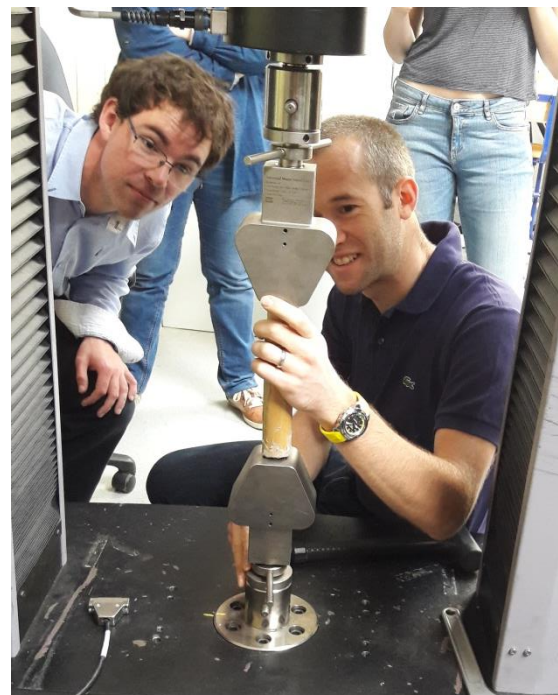


Figure 6 : Mr Breteau ajustant la machine avec ferveur

Malheureusement, dès le début des essais, la colle liant les embouts au bambou n'a pas résisté. Cela était probablement dû à un manque d'adhérence entre celle-ci et les embouts. Peut-être qu'un ponçage plus profond du bambou ou des découpes de fentes dans celui-ci voire un usinage supplémentaire des embouts, aurait pu améliorer cette adhérence. Nous avons également par la suite pensé à insérer une goupille, liant le bambou et les embouts, mais par manque de temps nous avons dû abandonner cette idée.



Figure 8 : Epreuve à la suite de l'essai non concluant

D. Conception du vélo en bambou

1. Déroulement de la conception du vélo

Lors de nos premières séances, nous nous sommes rendus compte que la création d'un vélo entièrement en bambou demanderait beaucoup de temps et de l'expérience. En effet, les liaisons et la fixation des tiges de bambou entre-elles sont complexes et requièrent beaucoup de temps.

Outre le fait qu'il fallait absolument récupérer une fourche d'un vélo classique (car une fourche en bambou n'aurait pas été envisageable), il nous a fallu trouver un moyen de faire tenir les différents tubes de bambou entre eux ainsi que de fixer les roues et le pédalier à la nouvelle structure. C'est pourquoi nous avons décidé de partir d'un ancien vélo en métal classique. Cela nous a ainsi permis de garder la géométrie du vélo, les angles de liaisons et de faciliter l'assemblage du vélo. Nous avons donc découpé les barres de métal pour les remplacer par des tiges de bambou.

La conception du vélo en bambou s'est faite en deux temps. Tout d'abord il nous a fallu construire un socle solide en bois permettant de fixer le vélo en métal et de maintenir sa géométrie pendant que nous travaillions :

- Récupération du matériel : plaque en mélaminé, planchettes de bois, vis
- Découpage des planchettes de bois



Figure 9 : Schéma du découpage de la planchette de bois

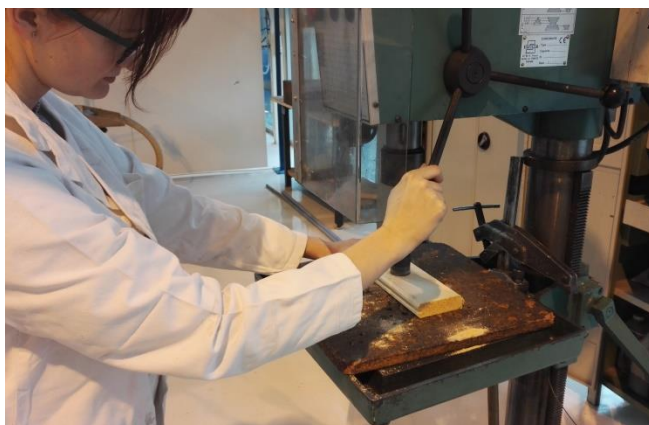


Figure 10 : Perçage des planchettes



Figure 11 : Découpage des planchettes

- Vissage des planchettes sur la plaque en bois



Figure 13 : Fixation des planchettes par perçage



Figure 12 : Socle final accueillant de vélo

Une fois cette étape terminée nous avons pu débuter la conception du vélo en bambou.

- découpe des tiges de bambou à la bonne longueur



Figure 14 : Découpage d'une tige dans l'atelier de mécanique

- découpe des barres du vélo à la scie à métaux manuelle

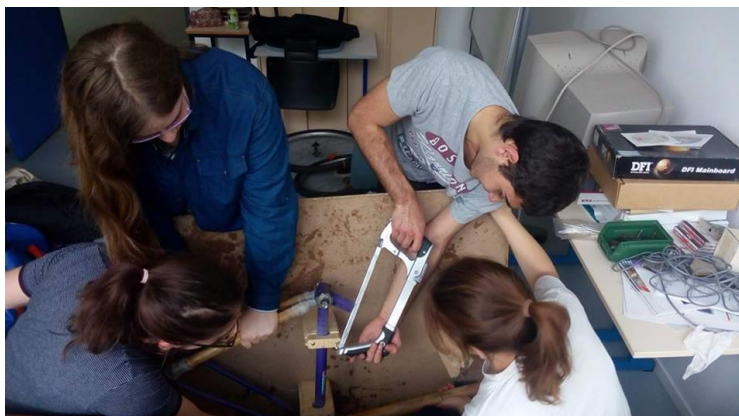


Figure 15 : Liaison délicate à scier

- remise au bon diamètre de chaque barre de métal (cf. partie sur les problèmes rencontrés)



Figure 17 : Tige de métal sciée...



Figure 16 : ...pour ensuite être compressée
(réduction du diamètre)

- collage de chaque tube de bambou grâce à un mélange de fibre de verre et de résine Epoxy. Pour cela, nous avons dû nous protéger les mains avec des gants (empruntés au département CFI) et aérer la pièce car la résine est nocive et corrosive.



Figure 18 : Début de l'assemblage des tiges de bambou

Figure 19 : Cadre final en bambou et fibre de verre



- assemblage des roues, selle, guidon et pédales (cf. partie sur les problèmes rencontrés)
- lasure et finitions du vélo en bambou



Figure 20 : Lasure et pose de ruban adhésif

A la suite de toutes ses étapes, nous avons abouti au résultat suivant :



Figure 21 : Vélo en bambou final !

En définitive, nous sommes fiers du rendu de notre vélo. Nous craignions de ne pas avoir le temps de terminer les finitions. Finalement, nous sommes parvenus à lasurer le vélo et à recouvrir de ruban adhésif les zones avec la fibre de verre. En effet, si nous les avions gardées telles quelles, les utilisateurs du vélo auraient pu se blesser avec les quelques fibres dépassant malgré le ponçage. De plus, le ruban adhésif nous a permis d'harmoniser notre vélo et de masquer les parties de l'ancien cadre en métal et ainsi d'avoir ce rendu remarquable.

2. Problèmes rencontrés

Au cours de notre projet nous avons rencontré plusieurs problèmes minimes.

Problème concernant les diamètres du bambou et du métal

Le problème principal concerne les diamètres de nos tubes de bambou et ceux des barres du vélo en métal.

Nous voulions que nos tubes en bambou « s'emboîtent » dans les barres en métal. Malheureusement, les barres de métal étaient plus larges que l'intérieur des tubes. Nous avons donc pensé à écraser l'extrémité des barres mais cela s'est révélé beaucoup plus compliqué que prévu. Nous souhaitions faire une entaille le long de la barre puis l'écraser avec une pince. Mais les barres étant larges et résistantes, nous avons dû faire plusieurs entailles et même retirer des bandes de métal pour réduire suffisamment le diamètre des tubes métalliques. Cette étape a été très longue.

De même, le tube dans lequel la selle s'insère est légèrement trop petit. Cependant, l'écraser -comme nous l'avons fait pour les autres- n'était pas envisageable car la selle n'aurait pas pu rentrer à l'intérieur. Nous avons donc tenté de réduire le diamètre extérieur du tube métallique et le diamètre intérieur du bambou en les ponçant. Heureusement, poncer a été suffisant et nous n'avons pas eu besoin de couper ce tube ni de l'écraser. Nous pouvons donc toujours régler la hauteur de la selle.

Problème au niveau de la roue arrière

De façon logique, les tubes en bambou sont plus larges que les barres de métal, ainsi le nouveau cadre est plus épais. Pour la majeure partie du cadre cela ne pose pas de souci sauf au niveau de la roue arrière. En effet, le pneu est en contact avec le bambou ce qui empêche la roue de tourner. M. Breteau a donc commandé un pneu moins large afin que la roue puisse tourner correctement.

Problèmes liés aux essais mécaniques

Concernant les essais de traction, nous avons fait fabriquer des pièces en aluminium permettant de fixer les échantillons de bambou aux mors de la machine de traction. Cependant la résine Époxy n'a pas pris suffisamment et l'aluminium s'est décollé presque immédiatement après le début de l'essai soit à 400 N. Ces essais ne sont donc pas concluants.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, ce projet nous a beaucoup apporté, tant sur le plan technique et scientifique que sur le plan relationnel.

En effet sur le plan technique, il nous a permis de concevoir l'architecture d'un vélo et d'acquérir de nombreuses connaissances spécifiques (collage, vissage, découpage...). Nous avons également beaucoup appris sur la résistance des matériaux, notamment lors des essais de tractions.

Sur le plan relationnel et gestion, ce projet a été très enrichissant. En effet, nous avons dû faire preuve de coordination et de rigueur pour avancer tous les six. Contrairement aux autres projets menés auparavant à l'INSA, nous nous sommes sentis plus responsables et véritablement investis ; il a fallu gérer l'aspect financier (bons de commandes), les commandes de matériaux (résine, lasure, etc) et acquérir rapidement des connaissances techniques.

Nous remercions très chaleureusement notre professeur M. Breteau qui nous a encadré et guidé tout au long de ce projet. Sans son soutien et son implication nous n'aurions sûrement pas pu terminer le projet dans les temps. Nous sommes très reconnaissants d'avoir pu mener ce projet original, concret et enrichissant. Nous aimerions également remercier les enseignants, chercheurs et techniciens du département Mécanique pour leur temps et leur aide précieuse.

En conclusion, nous sommes très satisfaits du résultat du projet P6 malgré les quelques problèmes rencontrés. En effet, le rendu final du vélo correspond tout à fait à l'image que nous nous en faisons. Nous pouvons cependant imaginer des améliorations dans le futur, comme par exemple la création d'une fourche et d'un guidon en matériaux recyclables, la mise en place de freins sur la roue arrière et d'un système de changement de vitesse.

BIBLIOGRAPHIE

- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bambou> (valide à la date du 15/06/2017)
- http://www.maxisciences.com/bambou/le-bambou-un-materiau-d-039-avenir_art25053.html
(valide à la date du 15/06/2017)
- <http://www.bambouscience.fr/2011/06/24/caracteristiques-mecaniques-du-bambou/> (valide à la date du 15/06/2017)
- <http://www.espritbambou.fr/content/19-lexique-bambou> (valide à la date du 15/06/2017)
- http://www.eco-sapiens.com/dossier-146-Le-bambou--solution-ecologique-ou-arnaque-industrielle_.html (valide à la date 15/06/2017)
- http://mainguyen.nhaan.free.fr/wiki/index.php?view=bambou_3 (valide à la date du 15/06/2017)
- http://fablabo.net/wiki/V%C3%A9lo_en_Bambou (valide à la date du 15/06/2017)

ANNEXES

Organigramme

