

Expérimenter la RdM avec le banc 3R Bed100 : Caractérisation d'assemblages sollicités en flexion (bâtonnets bois)

Culture Sciences
de l'Ingénieur

Xavier JOURDAIN - Hélène HORSIN MOLINARO

Édité le
03/01/2023

école
normale
supérieure
paris-saclay

L'objectif de ces ressources est de proposer des activités incitant les élèves à réfléchir à la construction d'un pont franchissant un obstacle. Que doit-on comprendre et développer pour construire un tablier de pont ? Nous aborderons la notion d'effort maximal, de moment quadratique, de valeurs expérimentales et théoriques. Il est important de souligner que ces études permettent de réduire la quantité de matériaux utilisés pour dimensionner une structure, et sont donc directement liées à la notion d'éco-responsabilité, et de sobriété dans la construction.

Cette première ressource propose une démarche de caractérisation expérimentale de bâtonnets en bois sollicités en flexion. La seconde ressource « *Expérimenter la RdM avec le banc 3R Bed100 : Étude théorique d'assemblages sollicités en flexion (bâtonnets bois)* » [1] propose l'étude théorique et la comparaison avec les résultats expérimentaux.

Nous allons mener, sur le banc 3R Bed100, des essais de flexion 3 points pilotés en déplacement. Ces essais sont menés sur des bâtonnets simples, doubles collés ou non collés et triples collés ou non collés, sollicités selon leur axe faible ou leur axe fort (figure 2). L'aptitude à résister à la flexion permet une sensibilisation au moment quadratique. Les données sont obtenues sur plusieurs essais ce qui permet une sensibilisation à la variabilité des résultats. Cette notion est particulièrement développée dans la ressource « *Caractérisation de la variabilité de la résistance en traction de bâtonnets en bois* » [2].

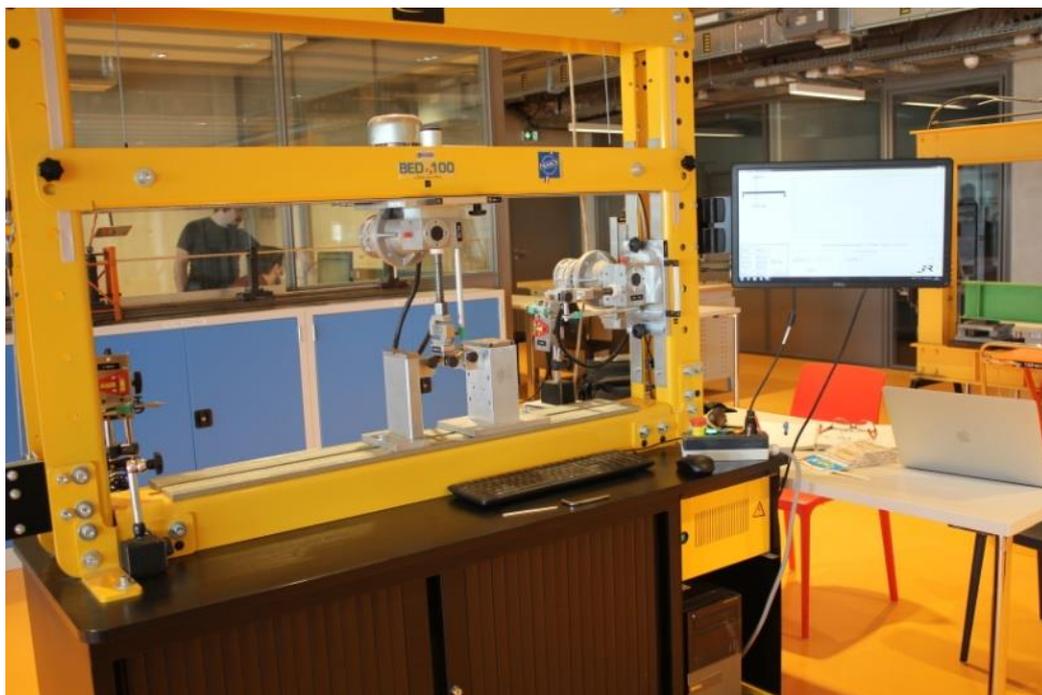


Figure 1 : Banc 3R Bed 100, source [1]

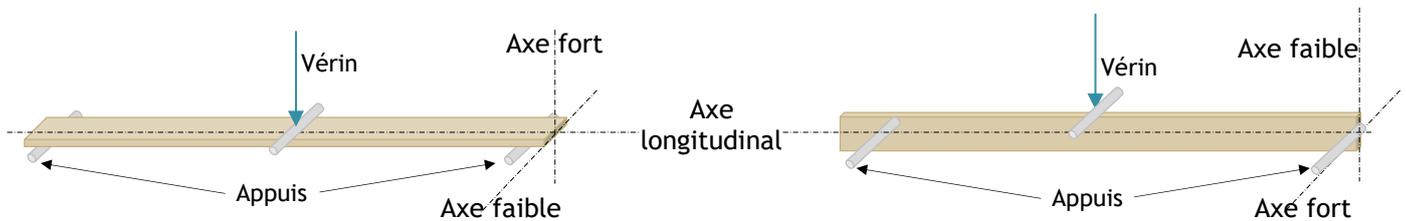


Figure 2 : Géométrie du bâtonnet étudié sollicité selon son axe faible (à gauche), et selon son axe fort (à droite)

1 – Essais flexion 3 points sur un bâtonnet axe faible

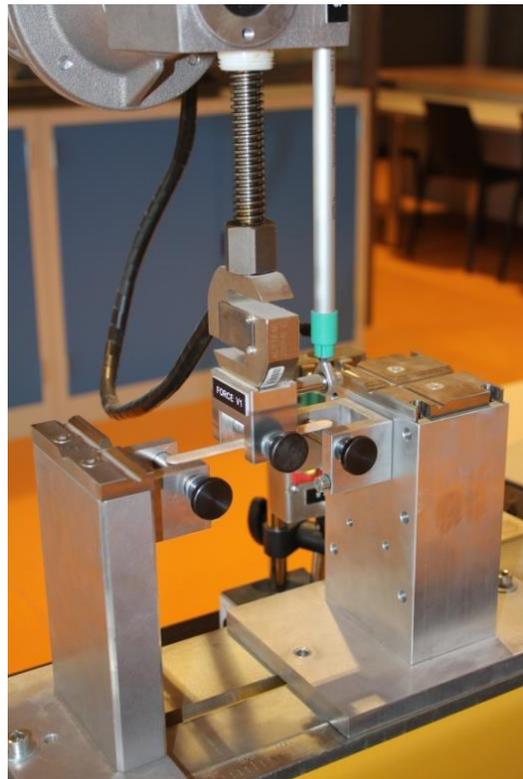
1.2 - Préparation du banc 3R Bed 100

Pour réaliser les essais sur le banc, choisir dans le dossier « Produit méthode » installé par le banc, choisir le dossier « Théorie des poutres », puis « Vérin 1 », et enfin « Flexion 3 points ».

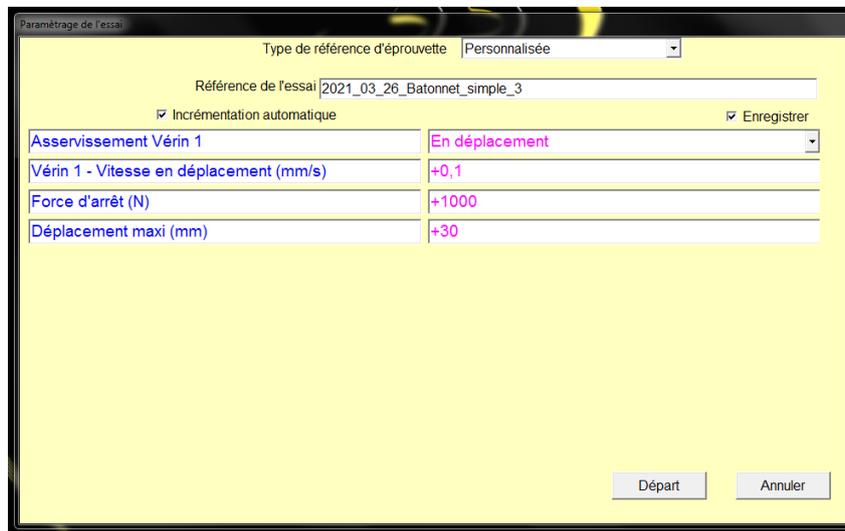
Les bâtonnets font environ 11,5 cm, les points d'appui pour la flexion 3 points seront espacés de 10 cm : positionner les deux appuis à 10 cm d'écartement et symétriques par rapport à l'axe du vérin délivrant l'effort.

1.2 - Déroulé de l'essai

1. Positionner le bâtonnet centré sur les deux appuis



2. Faire une approche en mode manuel du vérin (F6)
3. Passer en mode automatique
4. Cliquer sur « Enregistre » et indiquer dans la fenêtre, le nom de l'essai, le type d'asservissement du vérin puis les valeurs indiquées dans la figure ci-dessous.



5. Cliquer sur « Départ ». L'essai commence lorsque le bouton marche est enfoncé. Le tracé commence à partir d'une valeur $F=10$ N. (Pour que le tracé commence immédiatement, il est nécessaire de donner une petite impulsion : appuyer d'un doigt vers le haut sur la tête de vérin).
6. Stopper l'essai à la rupture totale ou lorsque la courbe commence à baisser.
7. Cliquer ensuite sur « Arrêt » puis « Analyse » qui permet d'obtenir le fichier excel des résultats de l'essai qu'il est ainsi possible de sauvegarder.

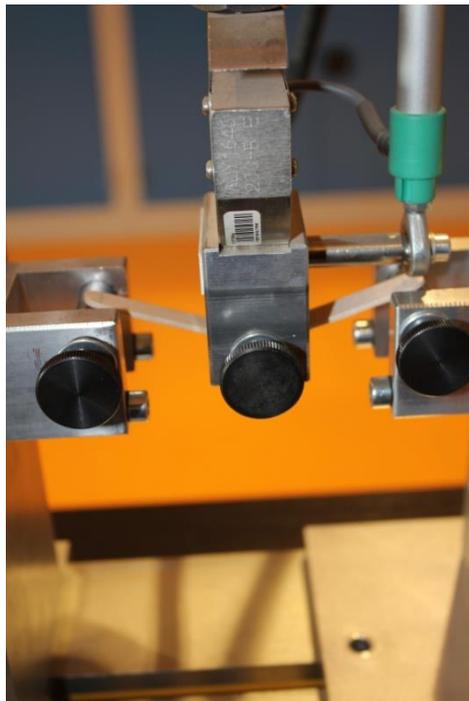


Figure 3 : Essai de flexion 3 points sur un bâtonnet simple axe faible (bâtonnet après rupture)

1.3 - Résultats obtenus

Trois essais ont été réalisés, les efforts maximums obtenus sont 29 N, 50N et 32 N. La figure 4 présente un exemple de courbe obtenue, il s'agit de l'effort maximum en fonction du temps ; le déplacement du vérin étant piloté en déplacement à la vitesse de 0,1 mm/s, cette courbe est aussi l'effort en fonction du déplacement. Dans le cas de cet essai, la flèche du bâtonnet était à 2,2 cm au moment de la rupture (figure 3).

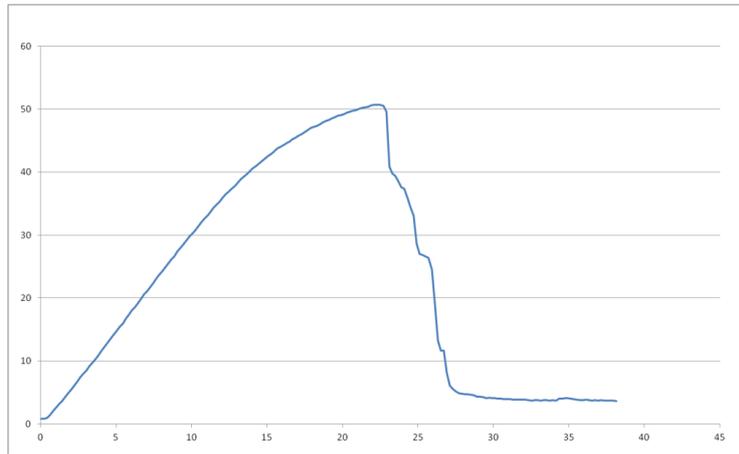


Figure 4 : Exemple de résultat d'essai sur un bâtonnet posé sur axe faible

2 – Essais flexion 3 points sur un bâtonnet axe fort

Positionner le bâtonnet sur la tranche et procéder à l'essai de la même manière.



Figure 5 : Essai de flexion 3 points sur un bâtonnet simple axe fort

Résultats obtenus

On se rend compte que dans cette position le bâtonnet déverse avant que l'on puisse aller au bout de l'essai, cependant il accepte un effort plus important, de l'ordre de 80 N (79, 81 et 81 N). Cet essai permet de montrer qu'avec la même quantité de matière on doit pouvoir obtenir des résistances plus importantes. Ce constat nous permet d'introduire les essais suivants avec différentes configurations d'assemblages de bâtonnets. Si un déversement est constaté avant la rupture du bâtonnet, cet essai permet également de sensibiliser à la notion d'instabilité (voir également l'encart sur le déversement page 14).

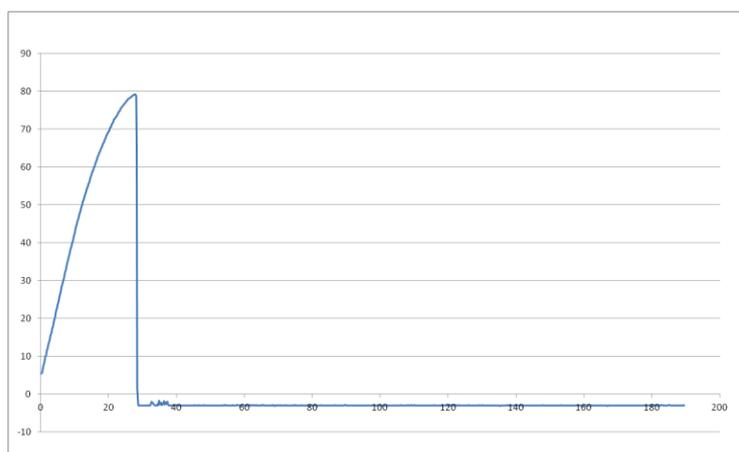


Figure 6 : Exemple de résultat d'essai sur un bâtonnet posé sur axe fort

3 – Essais flexion 3 points sur deux bâtonnets non collés axe faible

Il s'agit de tester deux bâtonnets simplement posés l'un sur l'autre. L'essai se déroule de la même manière.

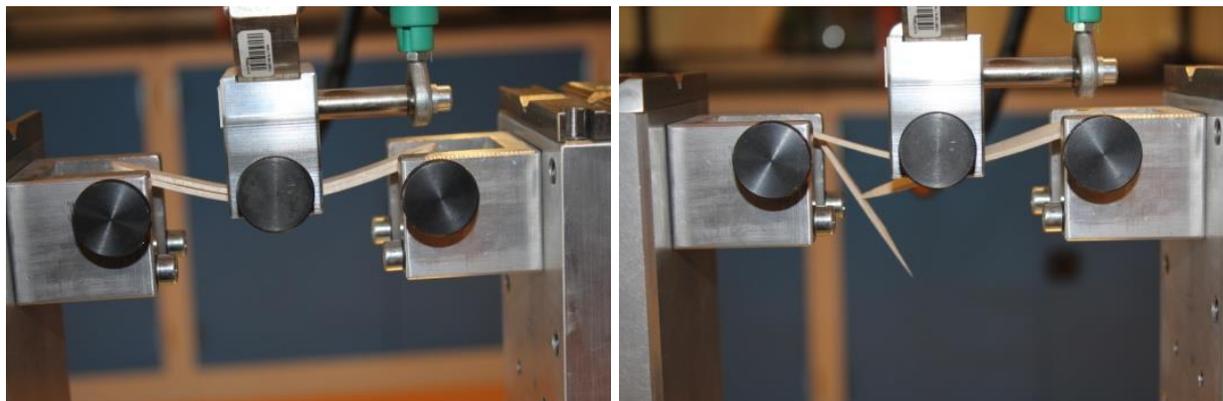
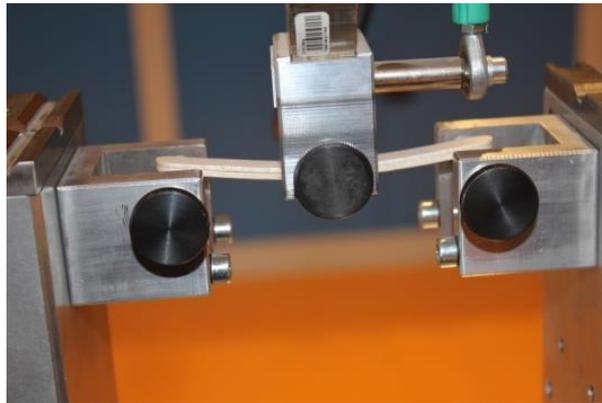


Figure 7 : Essai de flexion 3 points sur deux bâtonnets non collés axe faible

Résultats obtenus

L'effort maximal obtenu est environ deux fois plus important qu'avec un bâtonnet simple : 66 N, 65 N et 65 N.

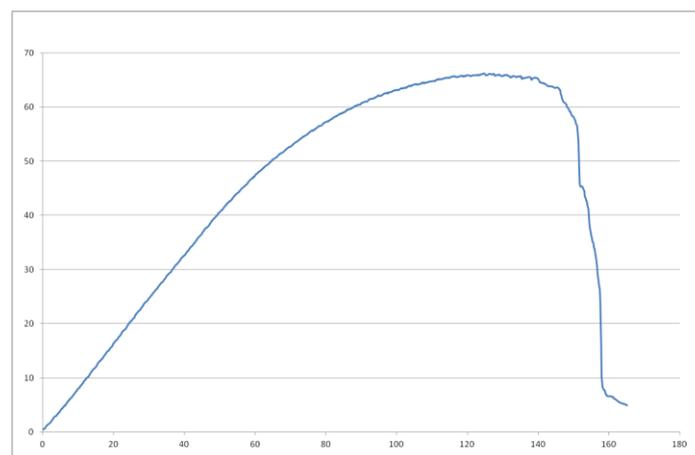


Figure 8 : Exemple de résultat d'essai sur deux bâtonnets non collés posés sur axe faible

4 – Essais flexion 3 points sur deux bâtonnets non collés axe fort

Les deux bâtonnets sont simplement posés l'un à l'autre. L'essai se déroule de la même manière.

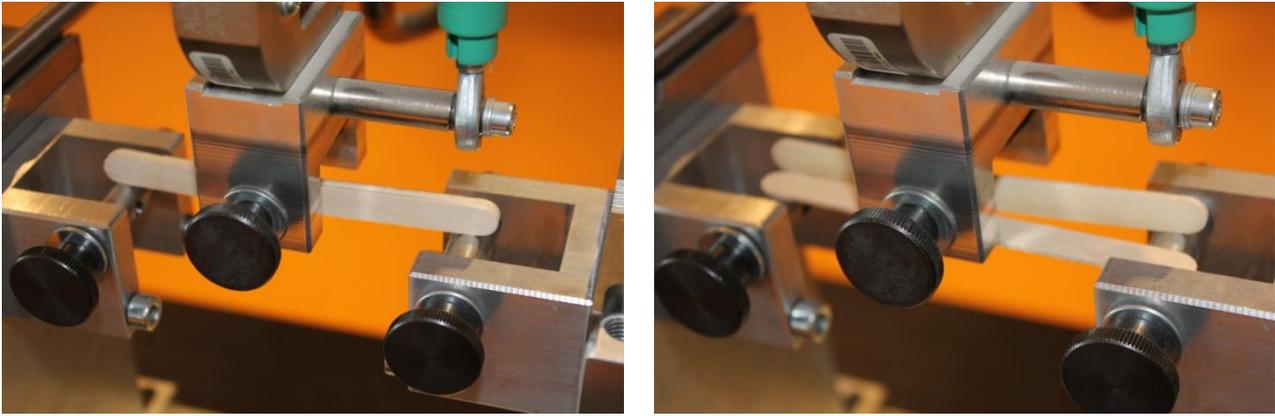


Figure 9 : Essai de flexion 3 points sur deux bâtonnets non collés axe fort

Résultats obtenus

Les bâtonnets déversent avant que l'on puisse aller au bout de l'essai, souvent non simultanément ce qui se voit sur la courbe (figure 10). L'effort maximal obtenu est environ deux fois plus important qu'avec un bâtonnet simple positionné afin d'être sollicité selon son axe fort : 165 N, 132 N et 184 N.

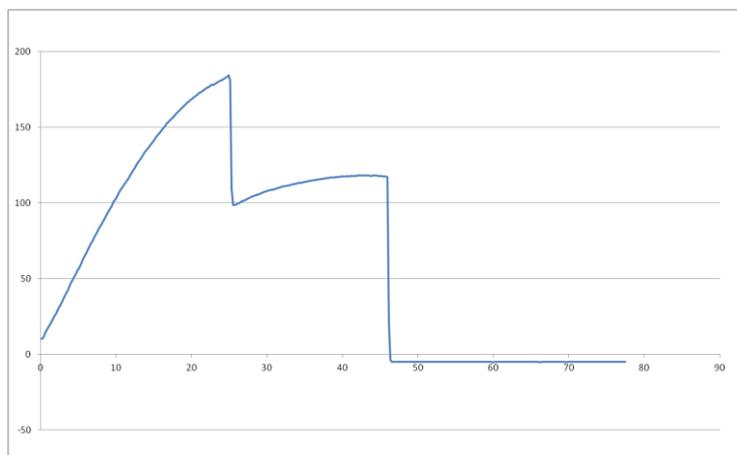


Figure 10 : Exemple de résultat d'essai sur deux bâtonnets non collés posés sur axe faible

5 – Essais flexion 3 points sur deux bâtonnets collés axe faible

Lors de cette série d'essais, nous faisons un point sur l'importance du collage et de la qualité des bâtonnets.

5.1 - Importance de la qualité des bâtonnets et du collage

Un premier essai a été pour un temps de séchage du collage des bâtonnets de 50 minutes (recommandation minimale du fournisseur), F_{\max} a été de 127 N.

Les autres essais ont été faits après un temps de séchage de 21 jours. Un des assemblages présentait un défaut sur un des bâtonnets (bois non homogène voir photo figure 11). L'effort maximal n'a été que de 106 N mais surtout la rupture du bâtonnet défailant ne s'est pas faite au point d'appui du vérin où la contrainte est maximum :

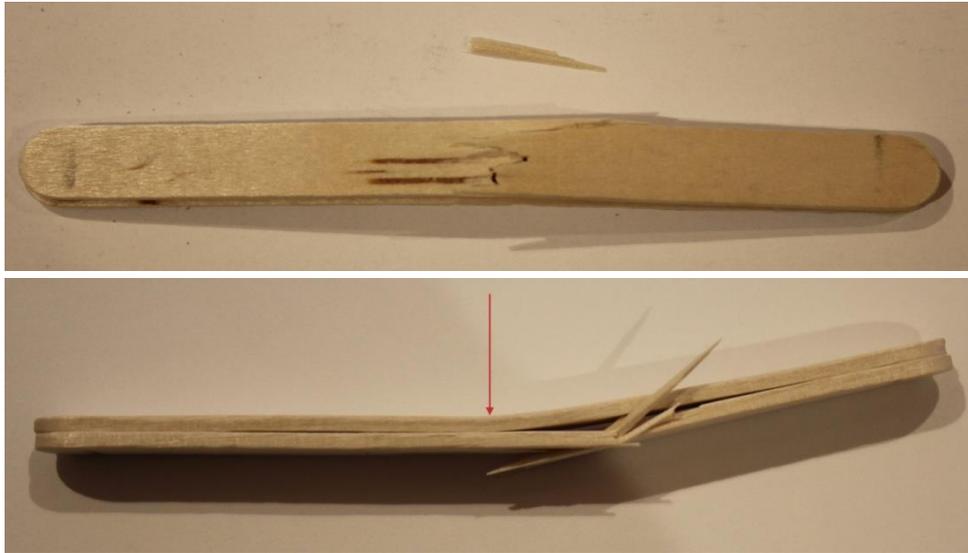


Figure 11 : Exemple d'essai sur bâtonnet défaillant

Un des autres assemblages présentait un défaut de collage, la forme bombée des bâtonnets n'a pas permis un collage sur toute la surface. Durant l'essai, nous constatons un glissement des deux bâtonnets (sursaut de la courbe à $F \cong 74$ N), puis une rupture à $F_{\max} = 81$ N.

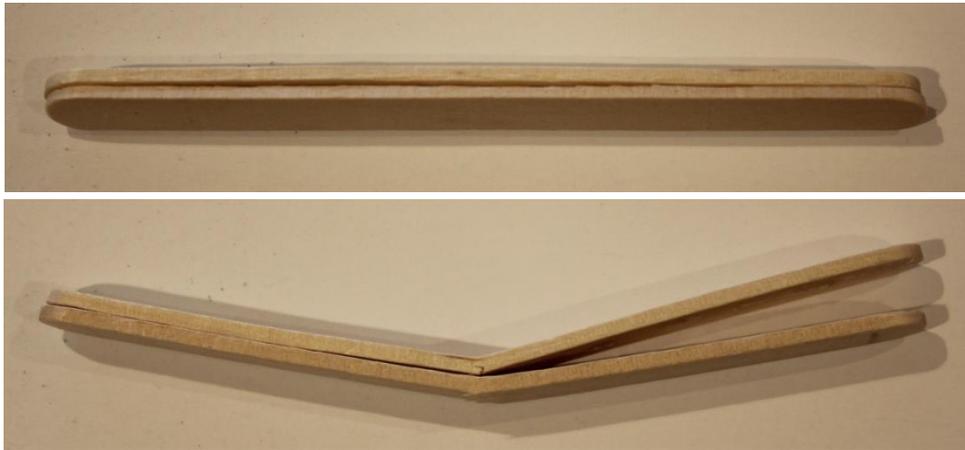


Figure 12 : Exemple d'essai sur collage défaillant (avant/après essai) dû à la forme bombée des bâtonnets

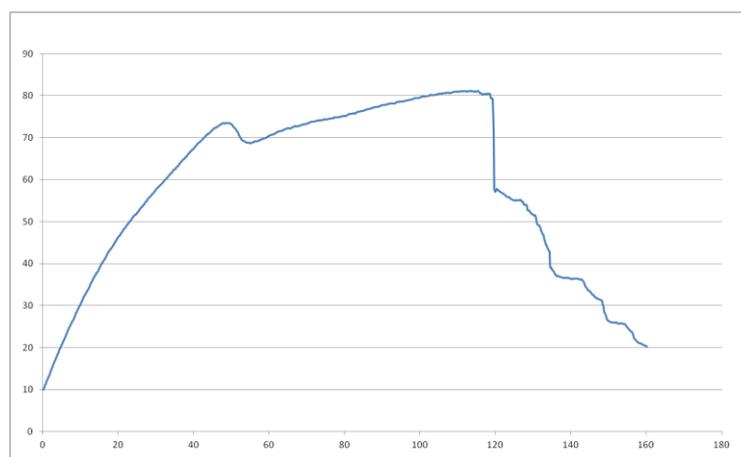


Figure 13 : Courbe obtenue pour l'essai sur assemblage mal collé

Des essais ont été réalisés sur trois autres assemblages avec 21 jours de séchage de colle.

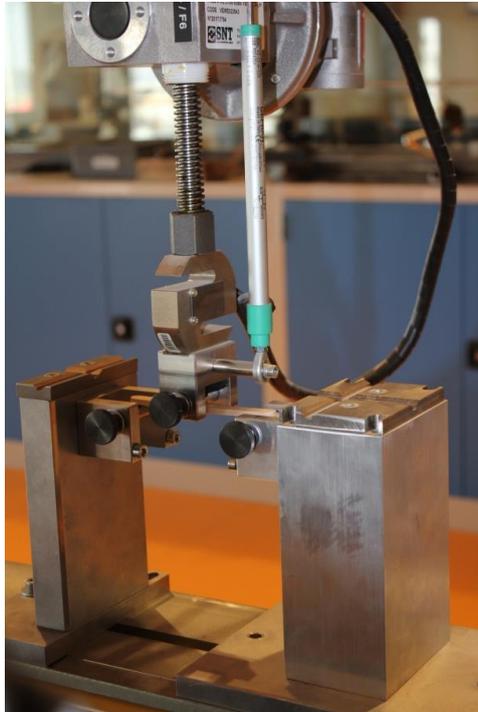


Figure 14 : Essai de flexion 3 points sur deux bâtonnets collés axe faible

5.2 - Résultats obtenus

L'effort maximal obtenu plus important qu'avec deux bâtonnets simplement posés l'un sur l'autre : 149 N, 156 N et 113 N.

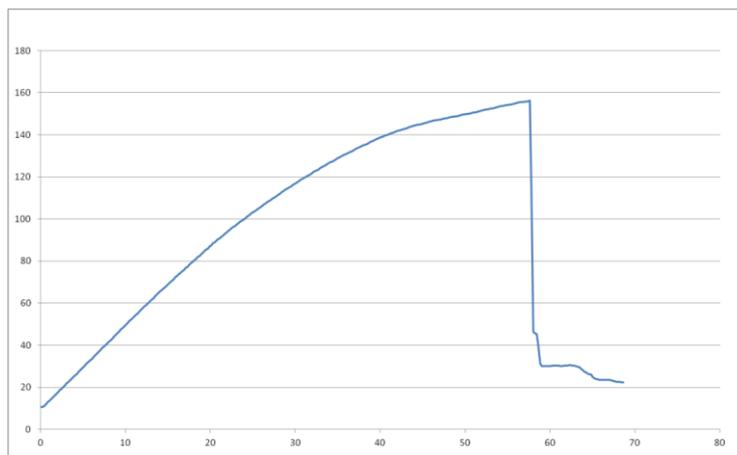


Figure 15 : Exemple de résultat d'essai sur deux bâtonnets collés posés sur axe faible

6 – Essais flexion 3 points sur deux bâtonnets collés axe fort

Ces essais sont réalisés sur des assemblages après 21 jours de séchage.

Résultats obtenus

Comme lors des essais sur bâtonnet simple, il y a déversement¹ avant rupture. L'effort maximal est plus de trois fois supérieur à l'effort maximal de deux bâtonnets non collés posés sur axe fort et il est nettement supérieur à l'effort maximal des bâtonnets collés posés sur axe faible : 231 N, 222 N et 210 N.

¹ Le déversement est une instabilité structurelle (voir également l'encart sur le déversement page 14).

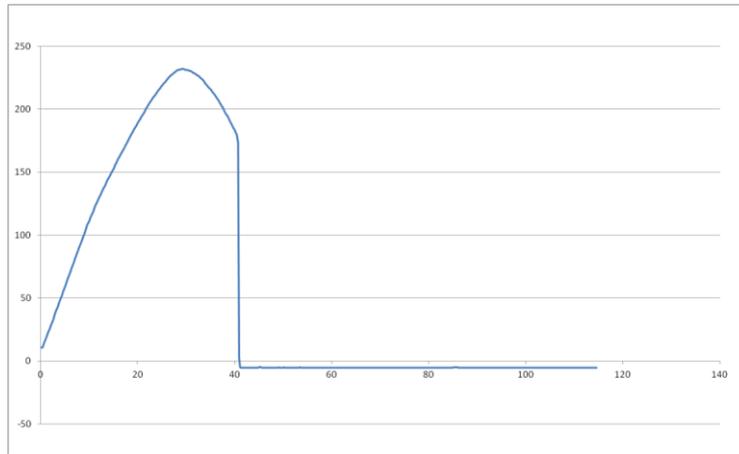


Figure 16 : Exemple de résultat d'essai sur deux bâtonnets collés posés sur axe fort

7 – Essais flexion 3 points sur trois bâtonnets non collés axe faible

Trois bâtonnets sont superposés. L'essai se déroule de même manière.

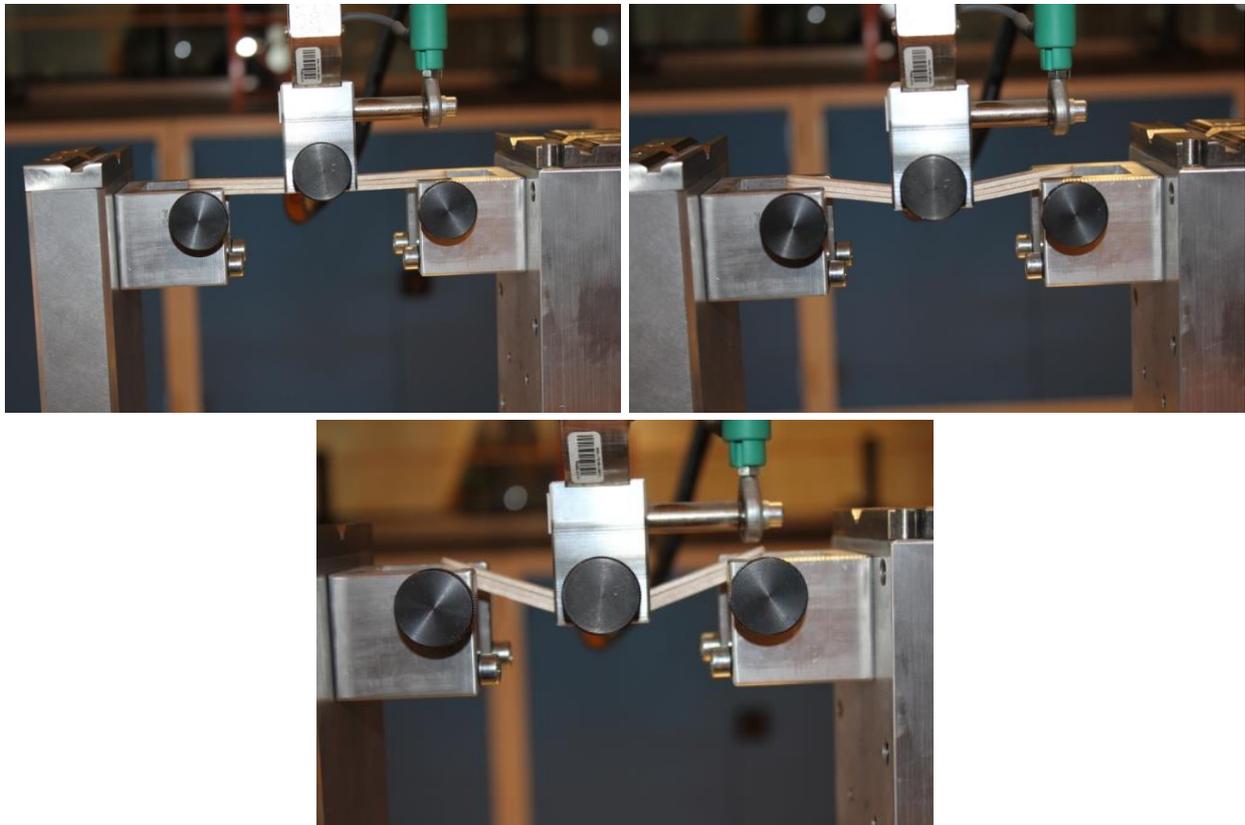


Figure 17 : Essai de flexion 3 points sur trois bâtonnets non collés axe faible

Résultats obtenus

L'effort maximal obtenu est environ trois fois plus important qu'avec un bâtonnet simple : 109 N, 100 N et 113 N.

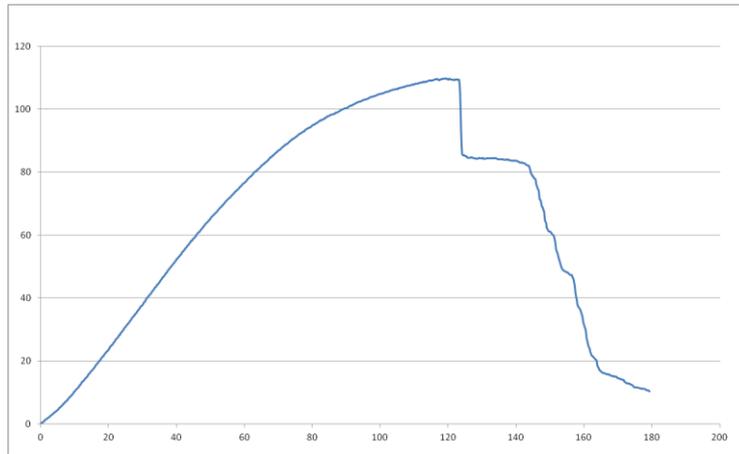


Figure 18 : Exemple de résultat d'essai sur trois bâtonnets non collés posés sur axe faible

8 – Essais flexion 3 points sur trois bâtonnets non collés axe fort

Les trois bâtonnets sont simplement posés l'un à l'autre. L'essai se déroule de la même manière.

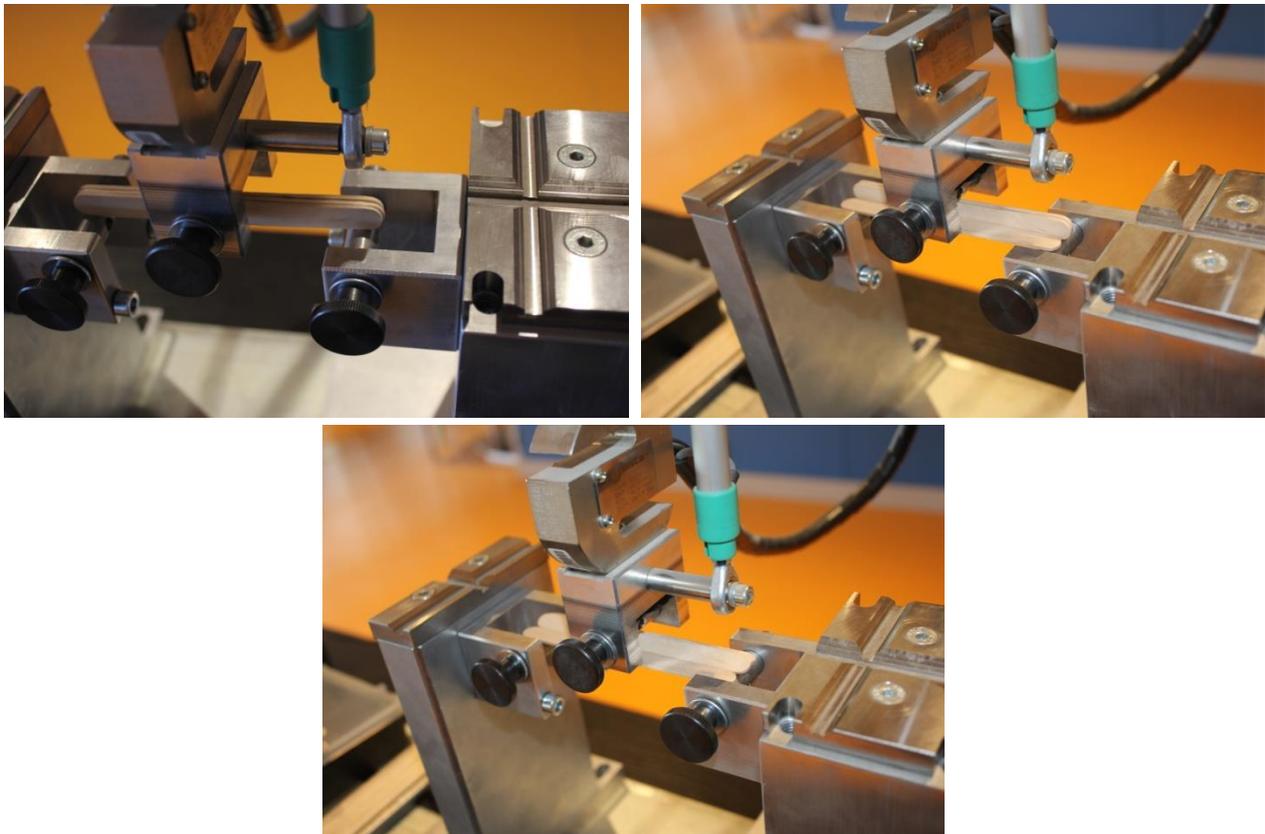


Figure 19 : Essai de flexion 3 points sur trois bâtonnets non collés axe fort

Résultats obtenus

Les bâtonnets déversent avant que l'on puisse aller au bout de l'essai, pas nécessairement simultanément. L'effort maximal obtenu devrait être d'environ trois fois plus important qu'avec un bâtonnet simple ($3 \times 80 = 240 \text{ N}$) or nous avons obtenus : 228 N, 156 N, 130 N et 241 N par l'effet du déversement, pour plus de détails voir l'encart sur le déversement page 14.

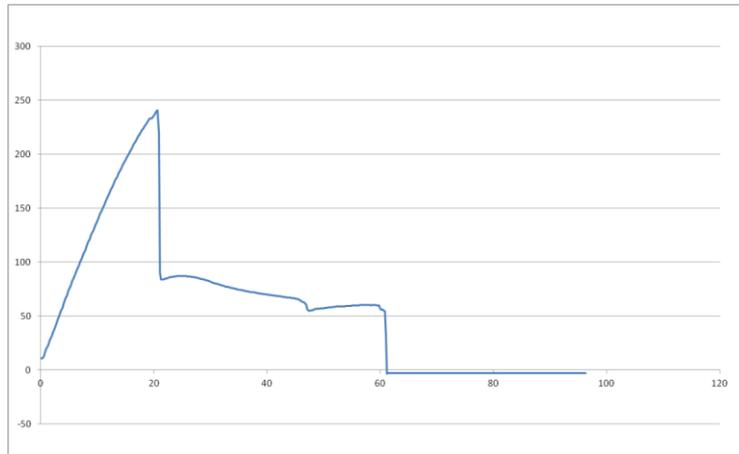


Figure 20 : Exemple de résultat d'essai sur trois bâtonnets non collés posés sur axe fort

9 – Essais flexion 3 points sur trois bâtonnets collés axe faible

Ces essais sont réalisés sur des assemblages après sept jours de séchage.

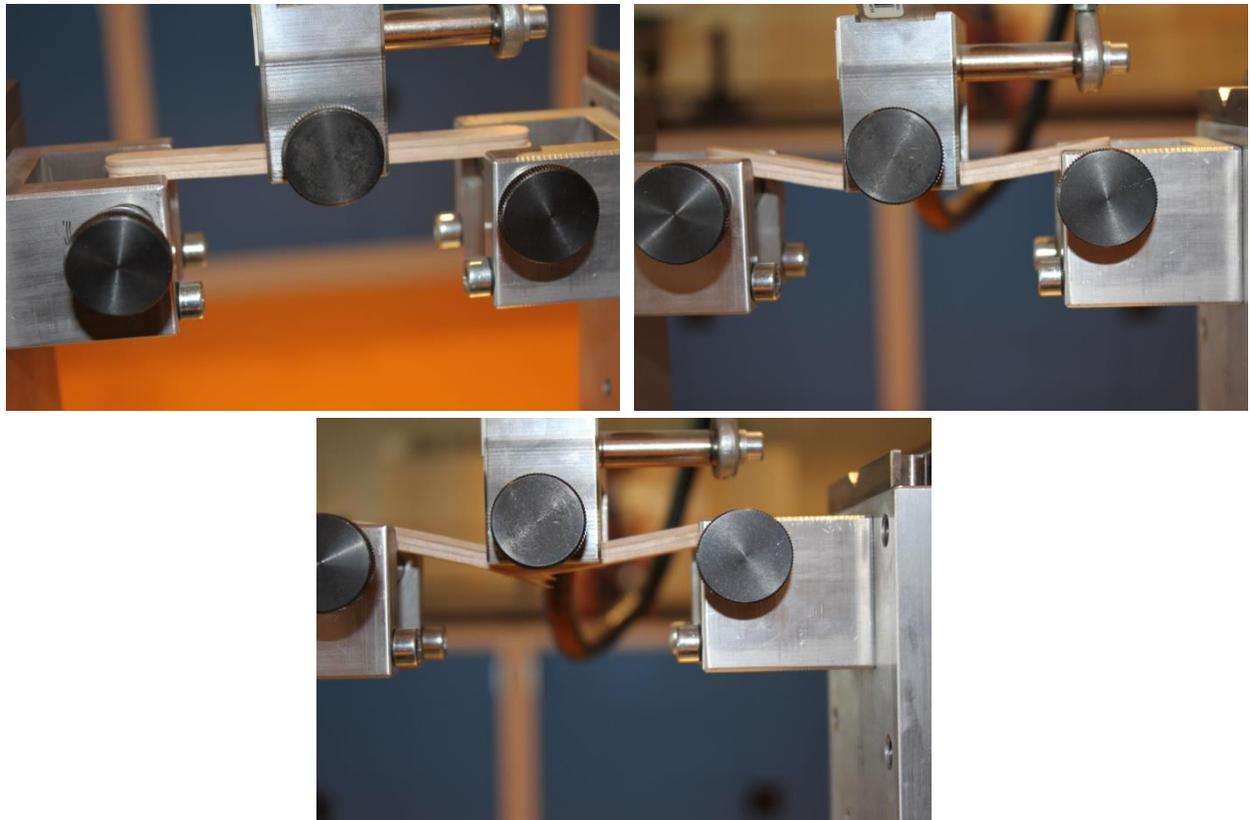


Figure 21 : Essai de flexion 3 points sur trois bâtonnets collés axe faible

Résultats obtenus

On note un matriçage au point d'appui du vérin, et lorsque le collage est parfaitement réalisé, les trois bâtonnets restent solidaires.

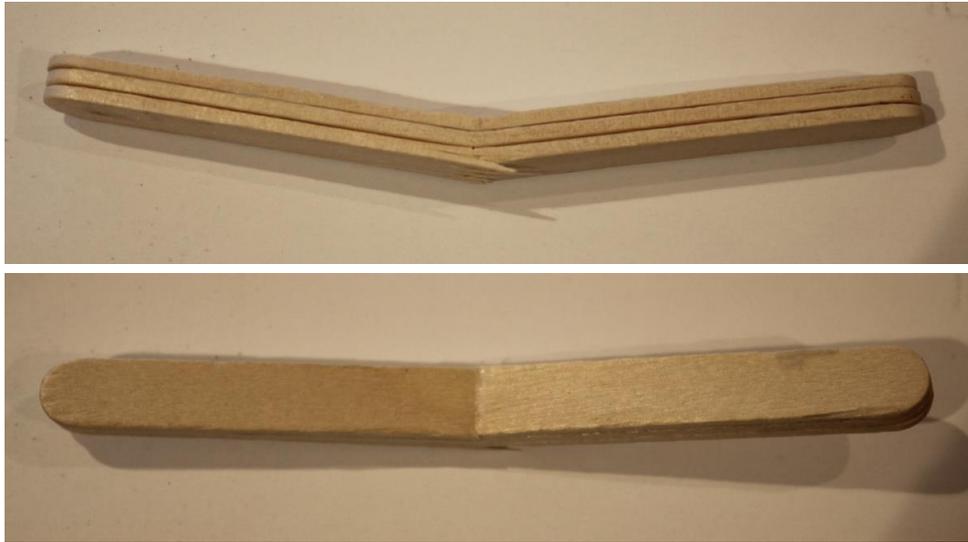


Figure 22 : Exemple d'essai sur trois bâtonnets collés posés sur axe faible

L'effort maximal est nettement supérieur à l'effort maximal de deux bâtonnets collés : 256 N, 221 N, 233 N, et 267 N.

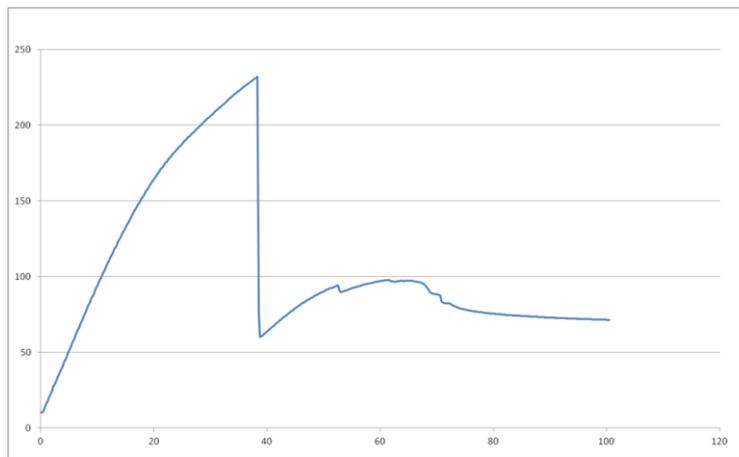


Figure 23 : Exemple de résultat d'essai sur trois bâtonnets collés posés sur axe faible

10 – Essais flexion 3 points sur trois bâtonnets collés axe fort

Ces essais sont réalisés sur des assemblages après 7 jours de séchage.

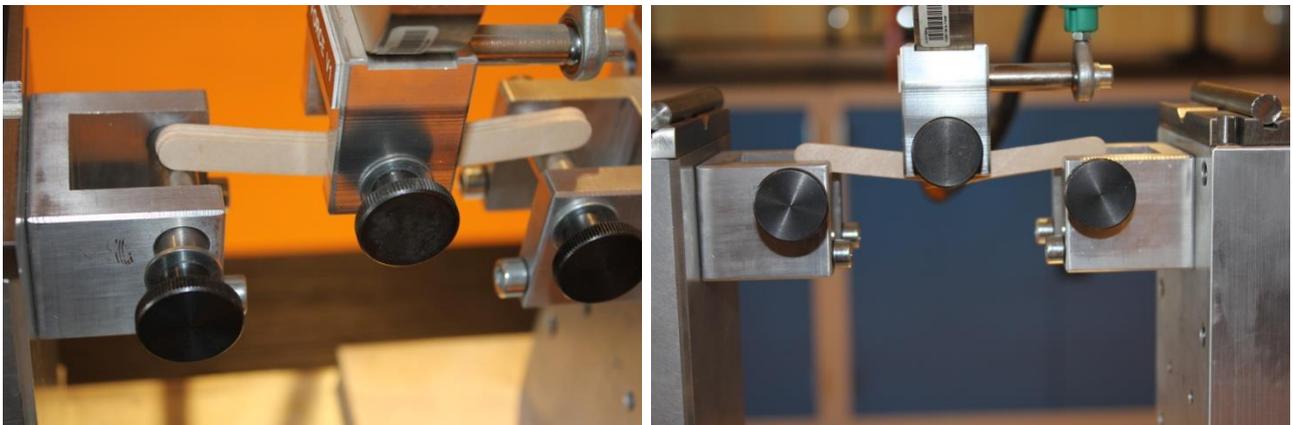


Figure 24 : Essai de flexion 3 points sur trois bâtonnets collés axe fort

Résultats obtenus

On note un fort matriçage au point d'appui du vérin, et lorsque le collage est parfaitement réalisé, les trois bâtonnets restent solidaires. Il n'y a pas de déversement.

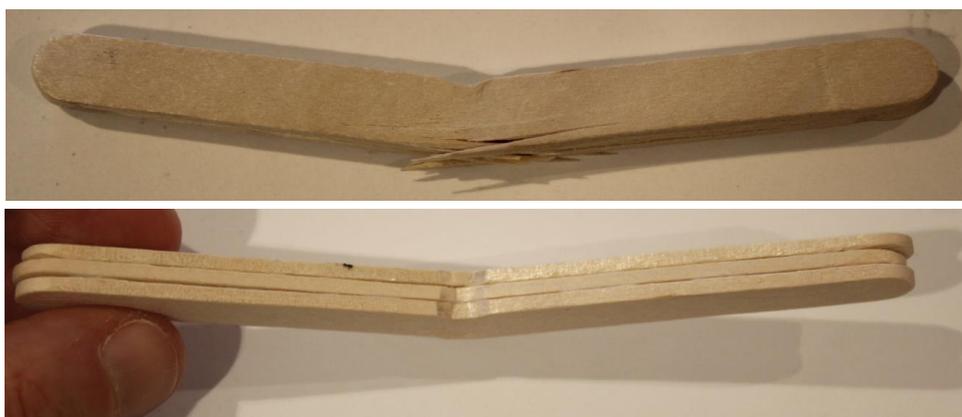


Figure 25 : Exemple d'essai sur trois bâtonnets collés posés sur axe fort

L'effort maximal est nettement supérieur à tous les autres cas : 365 N, 379 N et 395 N.

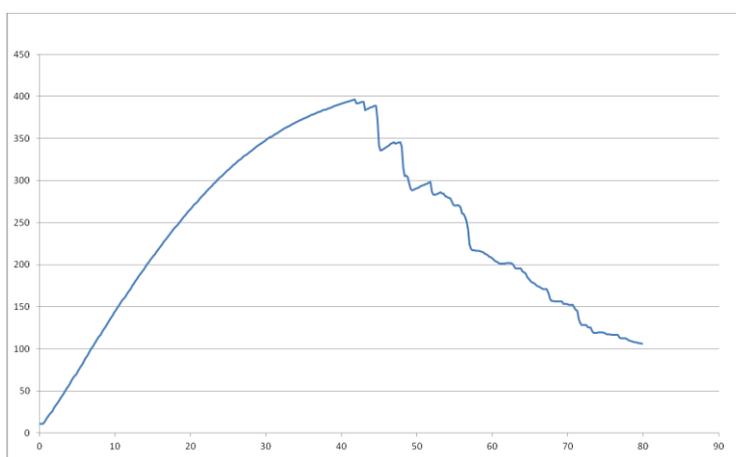


Figure 26 : Exemple de résultat d'essai sur trois bâtonnets collés posés sur axe faible

11 – Bilan des essais réalisés

Orientation	Posé sur axe faible	Posé sur axe fort
Bâtonnet simple	29 - 50 - 32	79 - 81 - 81
Bâtonnets double non collés	66 - 65 - 65	165 - 132 - 184
Bâtonnets double collés	149 - 156 - 113	231 - 222 - 210
Bâtonnets triple non collés	109 - 100 - 113	228 - 156 - 130
Bâtonnets triple collés	256 - 221 - 233 - 267	365 - 379 - 395

Tableau 1 : Valeurs des efforts maxi obtenus [N] aux essais selon les différentes configurations

12 – Analyses

Remarquons que la variabilité du matériau bois et les imperfections géométriques de bâtonnets ne permettent pas d'obtenir des moyennes représentatives avec seulement trois essais. Ces résultats nous autorisent néanmoins à comparer de manière qualitative les résistances des différents assemblages que nous analysons avec un modèle poutre dans la ressource « *Expérimenter la RdM avec le banc 3R Bed100 : Étude théorique d'assemblages sollicités en flexion (bâtonnets bois)* » [1].

Assemblages non collés

On remarque que la résistance de n bâtonnets non collés sollicités selon leur axe faible est n fois supérieure à un bâtonnet simple, ce qui permet de supposer une loi linéaire.

La même observation aurait pu être faite sur les bâtonnets non collés sollicités selon leur axe fort, mais une variabilité supplémentaire intervient du fait du risque de déversement. Ce déversement peut être causé par des imperfections géométriques ou par l'hétérogénéité du bois, il est donc propre à chaque bâtonnet.

Le déversement est une instabilité structurelle due à un mouvement hors plan lors d'une sollicitation en flexion. Théoriquement les efforts externes à la poutre (effort du vérin et réactions des appuis) et le centre de rigidité² sont dans le même plan. Ce mouvement est la conséquence d'une sortie de plan d'un des efforts ou du centre.

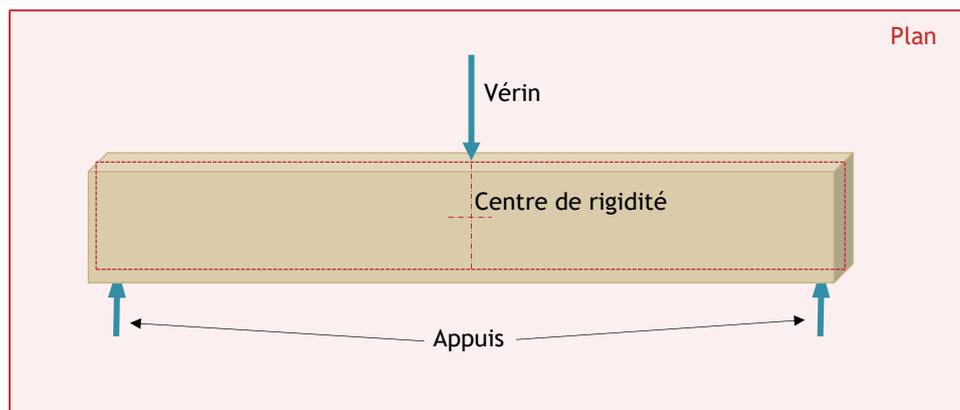


Figure 27 : Schématisation théorique du positionnement des trois efforts externes à la poutre et du centre de rigidité dans un même plan

Comme le montre le graphique figure 28, la régression linéaire pour la sollicitation selon l'axe faible (courbe bleue) est pertinente (coefficient de corrélation de 0,98), alors que selon l'axe fort (courbe orange), il faudrait répéter les essais afin de n'avoir que des résultats sans déversement. On obtiendrait alors une fonction linéaire.

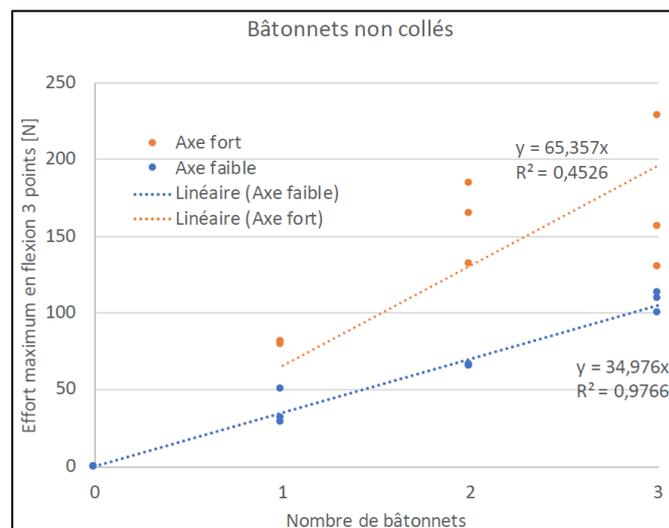


Figure 28 : Bilan des efforts maximums lors de la sollicitation en flexion selon les axes faible (bleu) et fort (orange) des bâtonnets non collés

² Centre de rigidité : est le barycentre géométrique pondéré par le module d'élasticité. Dans le cas d'un matériau homogène, il est confondu avec le centre de gravité (comme représenté figure 27).

Assemblages collés

La résistance de l'assemblage n'est plus proportionnelle au nombre de bâtonnets, la loi n'est plus linéaire. Le collage augmente significativement la résistance des assemblages, ce que nous justifierons par un modèle dans la ressource « *Expérimenter la RdM avec le banc 3R Bed100 : Étude théorique d'assemblages sollicités en flexion (bâtonnets bois)* » [1].

On remarque que le collage permet de diminuer fortement la variabilité selon l'axe fort due au déversement. Ceci est dû au fait que les lignes de contact (appuis et vérin) sont plus larges, et au fait que les bâtonnets sont liés entre eux, ne pouvant glisser les uns par rapport aux autres.

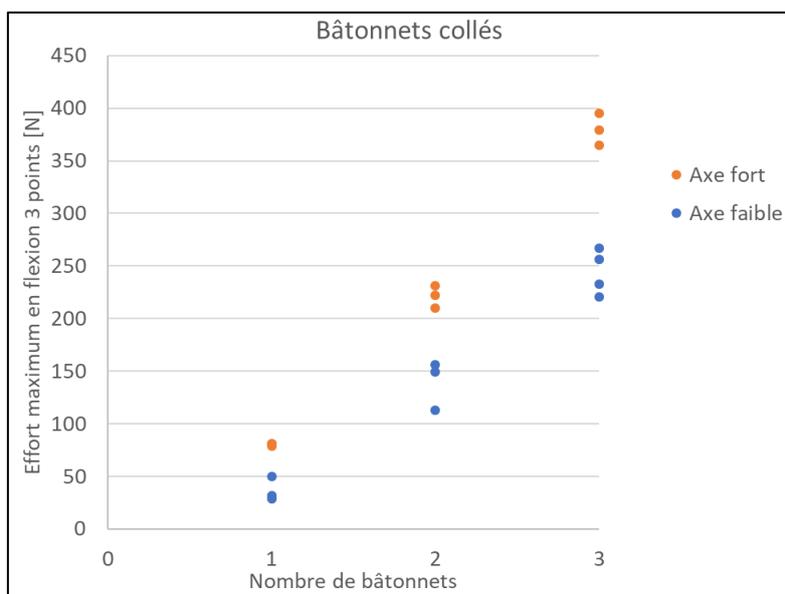


Figure 29 : Bilan des efforts maximums lors de la sollicitation en flexion selon les axes faible (bleu) et fort (orange) des bâtonnets collés

Références :

[1]: Expérimenter la RdM avec le banc 3R Bed100 : Étude théorique d'assemblages sollicités en flexion (bâtonnets bois), X. jourdain, H. Horsin Molinaro, https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/experimenter-la-rdm-avec-le-banc-3r-bed100-etude-theorique-dassemblages-sollicites-en-flexion

[2]: Caractérisation de la variabilité de la résistance en traction de bâtonnets en bois, X. jourdain, H. Horsin Molinaro, https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/caracterisation-de-la-variabilite-en-traction-de-batonnets-en-bois