



## Livrable n°4.6.1

# COMPTE RENDU TECHNIQUE DE LA REALISATION D'UNE ANNEXE EN LIN/PLA/LIEGE

03/2023

KAIROS



European Regional Development Fund



## PARTENAIRES

KAIROS, ECO TECHNILIN, UBS

## TRAVAIL REALISE

## 1) Objectifs :

L'objectif de ce rapport est de présenter la démarche suivie pour la conception et la réalisation d'une annexe de longueur 2,3 m. Les annexes sont de petites embarcations utilisées pour rallier de plus gros bateaux ou pour se déplacer sur des lieux de séjour de ces bateaux. Dans le cadre du projet FLOWER, l'annexe est intégralement réalisée à partir de panneaux plans associant des fibres de lin, une résine thermoplastique PLA 100% biosourcée et compostable en composte industriel et une âme en liège.

Les matériaux composites généralement utilisés dans la construction navale de plaisance font intervenir des résines thermodurcissables tel que des époxy, polyester ou vinylester qui présentent des risques pour la santé. Elles sont très majoritairement irritantes, neurotoxiques et présentent des risques CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique). Une fois associées aux fibres et mises en forme les résines thermodurcissables sont polymérisées. Le caractère non réversible de cette réaction rend leur recyclage onéreux et énergivore. La majorité est donc enfouie (90%) et le reste est incinéré.

Les composites thermoplastiques offrent des réponses aux problématiques de fin de vie et de toxicité. Leurs développements sont croissant dans l'aviation et l'automobile sur des pièces de moyenne et grande série. Le secteur de la construction navale, quant à lui, produit des pièces de grande dimension en petite série. Pour les chantiers navals dans le nautisme, les investissements dans les moyens de transformations sont limités. La fabrication de pièces de géométrie complexe en composite thermoplastique, nécessitant des niveaux de pression élevé et des moyens de chauffage, est donc proscrite.

Les travaux ont consisté à développer une technique d'assemblage de panneau plan au géométrie simple et adapté au secteur de la construction navale offrant les caractéristiques mécaniques suffisantes. Ce procédé permet la réalisation de pièce recyclable faisant intervenir une matrice thermoplastique de même nature pour l'assemblage que celle utilisée dans la réalisation des panneaux, en l'occurrence le PLA.

Le procédé développé permet de s'affranchir de l'utilisation de moules complexes qui représentent un investissement et un impact environnemental important de la construction. Le développement consiste à mettre en place les premières briques d'une technologie transposable au secteur de la construction navale permettant de répondre aux enjeux environnementaux du secteur. Le procédé permet la réalisation d'assemblage de manière très rapide en s'affranchissant des temps de séchage qui incombent aux résines thermodurcissables.



## 2) Démarche et choix techniques

### Sélection du modèle de l'annexe

Le modèle d'annexe AVEN a été dessinée en 2018 par Julien Marin, un architecte naval français pour Atelier Z, une association qui travaille à la réappropriation des savoirs et des techniques et à la création d'espaces de lien social, en territoire rural. Les plans de L'AVEN sont libres de droits.

Une première annexe (L'AVEN 1) avait été réalisée cette même année à partir de panneaux lin/PLA/liège fournis par Kairos. Les panneaux avaient été assemblés entre eux en utilisant une résine thermodurcissable époxy. Des salariés de Kairos avaient participé à titre individuel à la fabrication de L'AVEN 1.

L'AVEN a été sélectionnée dans le cadre du projet FLOWER car elle présente les intérêts suivants :

- Fabriqué à partir de panneaux plans donc adapté à la technique d'assemblage souhaitée
- Expérience existante de certains salariés de Kairos sur la fabrication de L'AVEN 1
- Coût de fabrication en adéquation avec le budget de l'extension demandée par Kairos
- Dimension et transport simple permettant de présenter l'AVEN lors de salon, conférence et autres évènements

L'AVEN 2 est une évolution de L'AVEN 1. Elle présente les innovations suivantes :

- Les peaux des panneaux sandwich sont fabriqués à partir du voile de carte développé par Ecotechnilin dans le module de travail MT2 du projet FLOWER.
- L'assemblage des panneaux utilise une résine thermoplastique en PLA

### Sélection des matériaux et procédés

Deux types de matériaux sont sélectionnés pour la réalisation de L'AVEN 2 : les matériaux pour la réalisation des panneaux sandwich et la résine thermoplastique pour l'assemblage des panneaux entre eux.

Les peaux des panneaux sandwich sont réalisés à partir des voiles de carte commélé lin/PLA en 150 g/m<sup>2</sup> réalisés par Ecotechnilin. Les voiles de carte commelés comportent 40 % de fibre de lin et 60% de PLA. Cinq plis de voile de carte sont utilisés dans la réalisation des peaux afin d'obtenir l'épaisseur souhaitée. Afin d'améliorer la tenue au vieillissement des peaux et notamment le blanchiment des fibres de lin exposés aux UV et à l'humidité, un film de PLA blanc de 500µ est intégré en surface. Le matériau d'âme utilisé dans la réalisation des panneaux est une couche de liège aggloméré de 8 mm d'épaisseur.

Les panneaux sandwich lin/PLA/liège sont fabriqués par le procédé de thermocompression.

## 3) Essais de mise en œuvre et caractérisation mécanique

### Réalisation des éprouvettes

Afin de valider la résistance et la rigidité de l'assemblage des panneaux, des éprouvettes telles que présentées Figure 3. Les éprouvettes consistent en l'assemblage de deux panneaux plans par un joint congé en PLA.



Le joint congelé est réalisé en résine thermoplastique PLA fondue et appliquée à l'aide d'un pistolet à colle (Figure 3). La Figure 3 présente le remplissage du pistolet à colle avec des granules de PLA.



Figure 3 : éprouvette pour test d'assemblage



Figure 3 : pistolet à colle



Figure 3 : remplissage du pistolet à colle

Trois lots d'échantillons de 5 éprouvettes ont été réalisés avec un assemblage en joint PLA et 1 lot d'échantillon de 5 éprouvettes en joint époxy :

- Référence : Epoxy
- Grade 1 : 100% PLA
- Grade 2 : 90% PLA + 10% PBAT
- Grade 3 : 70% PLA + 30% PBAT

Les trois grades de compound PLA comporte des taux de PBAT variant de 0% à 30%. Le PBAT est un polymère permettant d'augmenter l'allongement à la rupture du compound.

### Méthode des essais

Des essais de traction sont réalisés sur les éprouvettes grâce à un montage spécifique installé sur une machine de traction (voir Figure 4). L'éprouvette est sollicité en traction de telle sorte que le joint d'assemblage tende à s'ouvrir.



Figure 4 : montage des éprouvettes dans la machine de traction



## Résultats des essais

Les modes de rupture sont similaires sur toutes les éprouvettes. La rupture est initiée en dehors de la zone d'assemblage et se propage dans le liège (voir Figure 5 : faciès de rupture).



Figure 5 : faciès de rupture

Les résultats des essais de traction montrent que les résistances et les allongement à la rupture des assemblages en PLA sont environ 60% plus faible que ceux des assemblages en époxy. Par ailleurs l'influence du PBAT est négligeable tant sur la force à la rupture que l'allongement des éprouvettes (voir Figure 6).

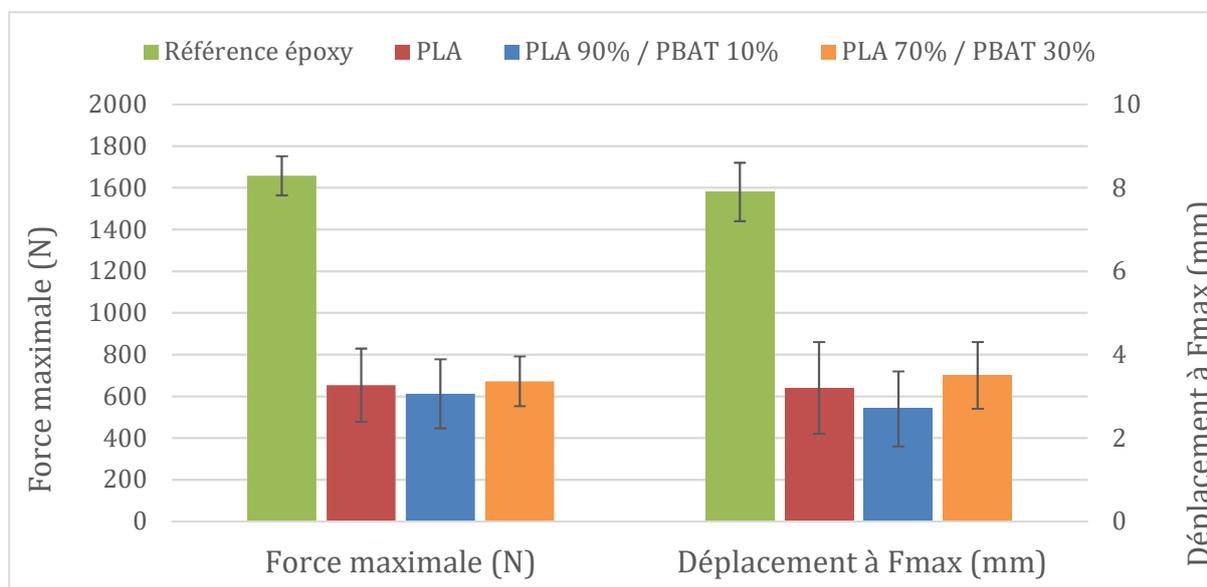


Figure 6 : résultats force et déplacement

Le compound retenu pour la fabrication de l'annexe est le 100% PLA pour une question de facilité de mise en œuvre due à une viscosité en adéquation avec le procédé.

## 4) Fabrication de l'annexe

### Conception et réalisation de l'outillage

La géométrie 3D de l'annexe est remise par l'architecte et sert de support pour la réalisation des outillages des coques bâbord et tribord (voir Figure 7 et Figure 8).

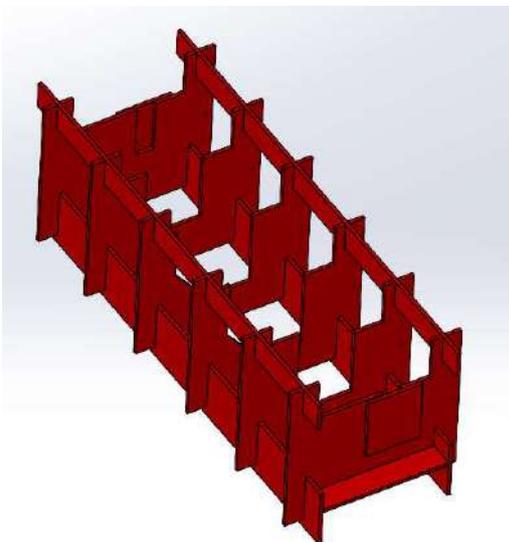


Figure 7 : outillage coque bâbord

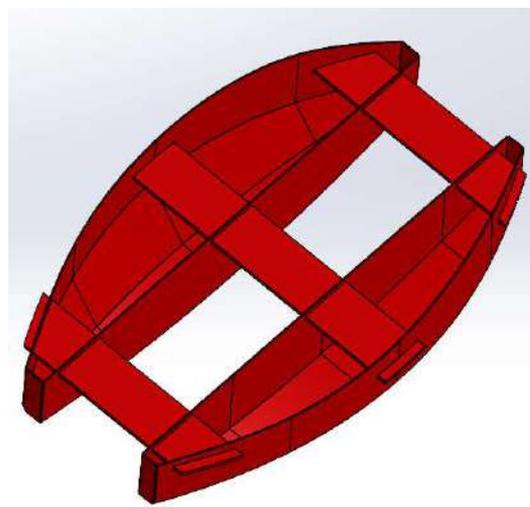


Figure 8 : géométrie de l'annexe

Les outillages sont réalisés en bois aggloméré et découpés à l'aide d'une fraiseuse à commande numérique (voir Figure 9).

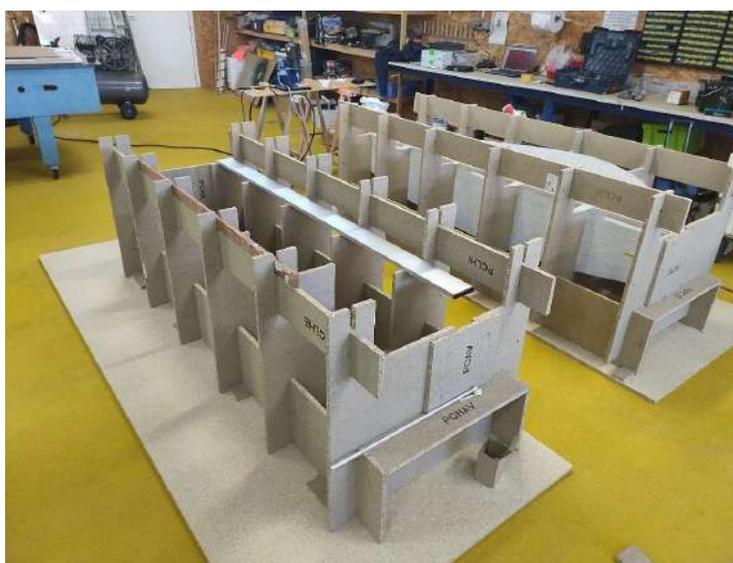


Figure 9 : outillages assemblés



## Assemblage des panneaux

Les panneaux sont positionnés dans les outillages en les cintrant pour leur donner la géométrie finale. Les joints d'assemblage entre les panneaux sont réalisés avec le pistolet à colle présenté plus haut (voir Figure 10).



Figure 10 : panneaux assemblés

Les coques de l'annexe sont assemblées entre elles avec des bancs démontables en contreplaqué (voir Figure 11).



Figure 11: annexe assemblée



## 5) Essais en mer

Les essais en mer ont permis de valider la tenue mécanique des assemblages ainsi que l'étanchéité des joints entre les panneaux (voir Figure 12).



Figure 12 : essais en mer

## CONCLUSION

Ce rapport présente une synthèse des travaux qui ont été réalisés pour la fabrication de l'annexe AVEN 2. Il présente les résultats des essais menés qui ont permis de développer le procédé de fabrication. Bien que la résistance offerte par l'assemblage en PLA soit inférieure à l'assemblage de référence en époxy, les essais en mer montrent que cet essai de faisabilité est pertinent. Le procédé devra continuer à être développé pour convenir à la fabrication d'embarcation de plus grande taille. La prochaine étape consistera à intégrer des fibres longues associée à une matrice thermoplastique dans la réalisation des joints d'assemblage.