



Livrable n°331

**Paramètres techniques pour la
fabrication des semi-produits
23/04/2019**

TEILLAGE VANDECANDELAERE



Interreg 
EUROPEAN UNION
**France (Channel
Manche) England**

European Regional Development Fund



Partners

PP Leader : Teillage Vandecandelaère

Partners involved : KAIROS, HOWA-TRAMICO

Contenu

1. Introduction.....	3
2. Ligne de fabrication des rovings 100% lin	3
3. Assemblage des rovings en renforts.....	6
3.1. Non Crimp Fabric.....	6
3.2. Grilles ouvertes fines	8
4. Conclusion et perspectives.....	10



1. Introduction

Dans la première partie du projet FLOWER, une des activités du TEILLAGE VANDECANDELAERE concerne la mise au point de procédés permettant de fabriquer de nouveaux semi-produits respectant les paramètres architecturaux définis par nos partenaires industriels (KAIROS et HOWA-TRAMICO).

Au cours des premiers mois du projet, les cahiers des charges de deux types de renforts ont été définis pour répondre aux besoins de nos partenaires :

- **Un renfort de type NCF** (Non Crimp Fabric) d'environ 300 g/m², contenant des rovings 100% lin orientés à ±45° (voir le cahier des charges réalisé dans le cadre du projet avec la société KAIROS)
- **Un renfort de type grille fine et ouverte de 70 g/m²** environ, 100% lin, pour la fabrication de raidisseurs par HOWA TRAMICO.

Les phases de transformation à déployer pour obtenir les semi-produits visés peuvent se scinder en deux étapes principales :

- **La transformation de la paille de lin en rovings non retordus** : cette étape consiste à extraire les fibres de lin de la paille et de transformer, suivant une série de mises en forme mécaniques, les fibres de lin en un ruban unitaire au titre maîtrisé (500 tex par exemple)
- **L'assemblage de ces rubans**, afin d'obtenir un produit homogène au grammage constant. Les technologies retenues pour réaliser cet assemblage sont la **fabrication additive** pour le NCF et le **tissage** pour les grilles ouvertes.

Le présent rapport vise à présenter les technologies qui seront utilisées pour la fabrication des renforts, et en particulier les paramètres techniques à surveiller afin d'obtenir des semi-produits conformes aux spécifications de nos partenaires. Dans un premier temps, nous présenterons le procédé de fabrication des rovings 100% lin, qui constituent la matière première pour l'obtention des NCF et des grilles ouvertes. Ensuite seront décrites les technologies d'assemblage retenues pour les rovings, ainsi que les premiers prototypes de renforts issus du programme FLOWER.

2. Ligne de fabrication des rovings 100% lin

Le schéma usuel de l'extraction des fibres de lin de la paille, et leur transformation en renforts pour matériaux composites s'effectue comme indiqué sur la figure 1. Les chiffres présentés dans ce schéma sont fournis à titre indicatifs, et correspondent à ceux du Teillage Vandecandelaère, une des usines de la SARL DEPESTELE.

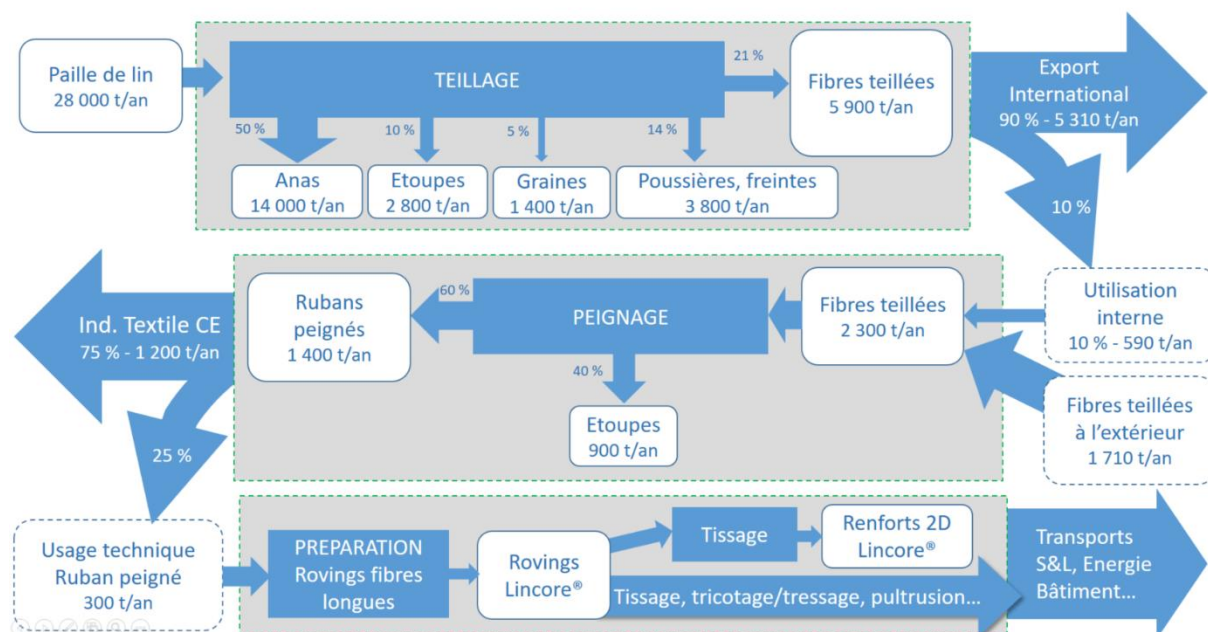


Figure 1 : schéma de la ligne de transformation usuelle du lin

Les différents lots de paille de lin sont collectés auprès de plus de 600 agriculteurs puis sont teillés. Cette opération consiste à séparer les différents constituants de la paille : les *anas* (qui correspondent à la partie « bois » de la paille et à 50% de sa masse), les *fibres* (environ 30% de la masse de paille), les *graines* et la *poussière*.

Les fibres de lin issues du teillage sont scindées en deux catégories :

- *Les étoupes* sont les fibres ayant rompu au cours du process : elles constituent un coproduit du teillage et serviront, dans le cadre de FLOWER, à la fabrication de non-tissés par Ecotechnilin. Elles sont présentées en vrac sous la forme de balles parallélépipédiques
- *Les fibres longues* sont celles arrivant au bout de la ligne de teillage, toutes orientées dans la même direction et enroulées sous la forme d'une balle ronde.

Les teilleuses sont réglées de manière à obtenir un maximum de fibres longues (et un minimum d'étoupes), tout en limitant l'endommagement des fibres au cours de leur extraction. Pour ce faire, la **pression des broyeurs**, les **vitesse des battoirs** et **d'avance** de la machine sont adaptées à la qualité des pailles fournies par les agriculteurs. Environ 10% des fibres longues sont transformées en étoupes de teillage tout au long du process.

Les fibres teillées sont ensuite peignées : le peignage consiste à diviser les faisceaux de fibres discontinues d'environ 80 cm de long (issues du teillage) et à les convertir en un ruban continu d'environ 35 g/m ; la nappe de fibres teillées est brossée par des pointes **de plus en plus rapprochées** et **de plus en plus fines**, et avance dans l'axe de la machine à une certaine **vitesse**. Au cours du procédé, environ 40% des fibres teillées sont transformées en étoupes de peignage.

C'est à partir de ces rubans peignés que les rovings sont fabriqués, après un enchaînement d'étapes d'affinage qui permettent à la fois de réduire progressivement le titre des rubans,

mais également de mélanger différents lots de fibres, dans le but de garantir une homogénéité des semi-produits d'une année sur l'autre. Le **nombre d'étapes** à franchir et les **étirages** programmés dans les différents passages (voir figure 2) pour passer de la matière première aux rovings dépend du titre attendu. D'une manière générale, plus le titre visé est faible, plus le nombre de passage et/ou les étirages sont importants.

Une fois que le roving présente un titre conforme (500 tex, soit 0,5 g/m par exemple), une étape de finition est entreprise à partir d'un agent **formulé en interne**. Il garantit la cohésion des fibres et une tenue mécanique suffisante afin d'éviter toute rupture lors des assemblages à venir (tissage, pultrusion, enroulement filamentaire...). Enfin, le roving est **séché** puis **bobiné avec une tension constante** et un **pas de trancanage** prédéfini sur des mandrins cylindriques de manière à constituer, pour tous les titres, des bobines de 2,5 kg.

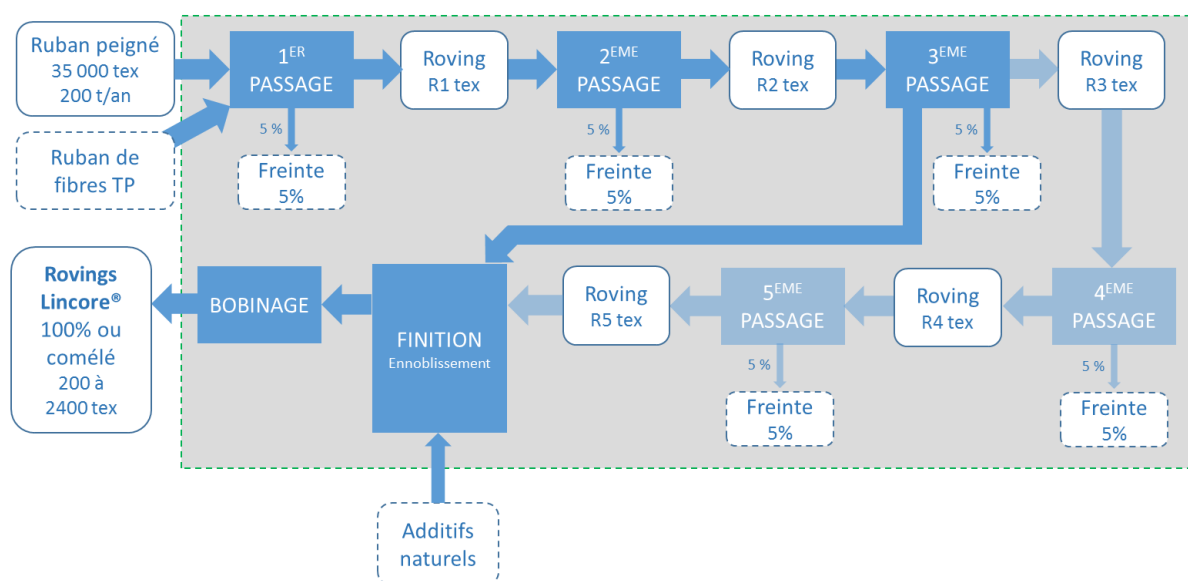


Figure 2 : schéma de la ligne de préparation

Ces bobines sont ensuite commercialisées, ou utilisées en interne pour la production de renforts tissés, dont le grammage et les caractéristiques dépendent des rovings utilisés et des réglages du métier à tisser (duitage, contexture, architecture fibreuse...).

En ce qui concerne le projet FLOWER, les technologies d'assemblage envisagées pour obtenir les préformes attendues par KAIROS et HOWA TRAMICO sont différentes.

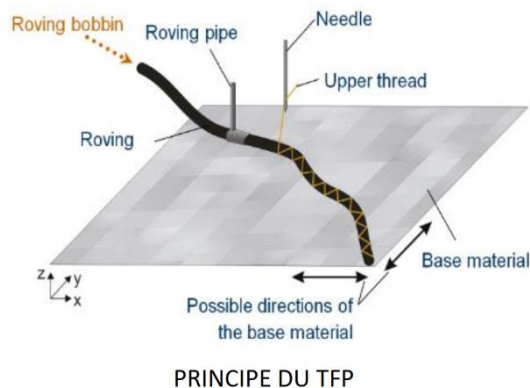
Les NCF seront fabriquées à partir de rovings cousus par l'intermédiaire de la technologie du Placement de Fibres Optimisé auprès de notre sous-traitant : elle permet d'obtenir rapidement et à coûts maîtrisés des préformes sur mesure, et en particulier des structures multicouches à angles et à trajectoires de fibres personnalisables. Les grilles fines ouvertes seront, quant à elles, tissées à partir de rovings élargis, développés dans le cadre du projet FLOWER, afin de proposer un semi-produit dont le ratio performance mécanique / épaisseur est optimal, pour des coûts les plus faibles possible.

La suite de ce livrable présente ces technologies et les paramètres associés.



3. Assemblage des rovings en renforts

3.1. Non Crimp Fabric



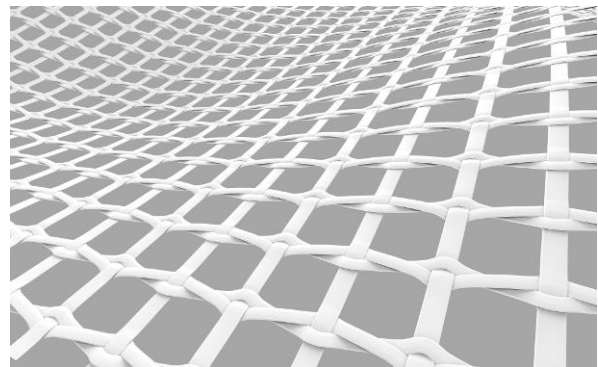
La technologie retenue est le TFP (Tailored Fibre Placement, ou Placement de Fibre Optimisé). Il consiste à déposer un matériau fibreux sur un support 2D (textile, film...). L'ensemble constitue alors une préforme qui peut alors être transformée en composite. Cette méthode est basée sur des technologies et des machines robustes, éprouvées et industrialisées. Les adaptations apportées par notre sous-traitant permettent de diviser les coûts de production par 2 à 5 par rapport à du placement de fibres

classique, et à obtenir des préformes multicouches personnalisées et fiables.

La **quantité** et le **type de fil de couture** (matière, titre, couleur) est ajustable et sera optimisée au cours du développement des renforts.

L'inconvénient de cette technologie est la nécessité d'avoir recours à un **support** sur lequel sera réalisé le dépôt. Le choix de ce support est une étape cruciale du travail, afin de conserver les propriétés mécaniques et de drapabilité stipulées dans le cahier des charges de KAIROS. Les supports suivants ont été pré-sélectionnés pour l'obtention des renforts :

- **Voile non-tissé en lin ou en fibres thermoplastiques** : leur avantage est leur faible coût et leur légèreté, mais ils présentent de faibles performances mécaniques et une drapabilité non optimale.
- **Tissu de type LENO** (voir ci-contre) : légers et drapables, ils présentent des performances mécaniques correctes mais leur coût est plus important que les non-tissés. La taille des mailles est ajustable ainsi que le grammage du support.
- **Renforts orientés en lin** : les rovings peuvent également être déposés sur un renfort tissé en lin (en particulier un unidirectionnel), déjà fabriqué par le Teillage Vandecandelaère. Cette solution permettrait d'obtenir un NCF « triaxial », avec un support aux performances mécaniques optimales dans la direction 0°. La préforme obtenue serait donc un 0°/-45°/45°. Cependant, le grammage final de la préforme tournerait dans ce cas autour de 500 g/m², ce qui reste néanmoins en accord avec la cible de 300 g/m² à 600 g/m² définie par KAIROS. Cette solution est économiquement la plus coûteuse.





D'une manière générale, il s'agit de réduire au maximum la prépondérance du support sur le NCF, afin d'obtenir un renfort aux performances mécaniques optimales (l'idéal étant de totalement supprimer ce dernier).

La figure 3 présente les premiers prototypes obtenus grâce à cette technologie.

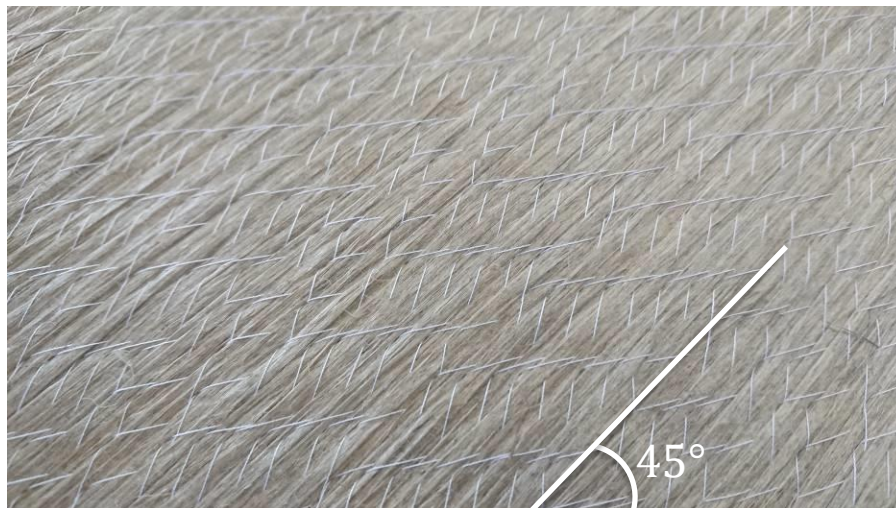


Figure 3 : NCF $\pm 45^\circ$ obtenu par TFP

L'orientation des rovings suit parfaitement les angles définis et le grammage des premiers prototypes est de 300 g/m^2 , ce qui est conforme au cahier des charges.

La figure 4 présente les types de support déjà testés : ils seront caractérisés au cours du programme, comme prévu dans le planning du projet.

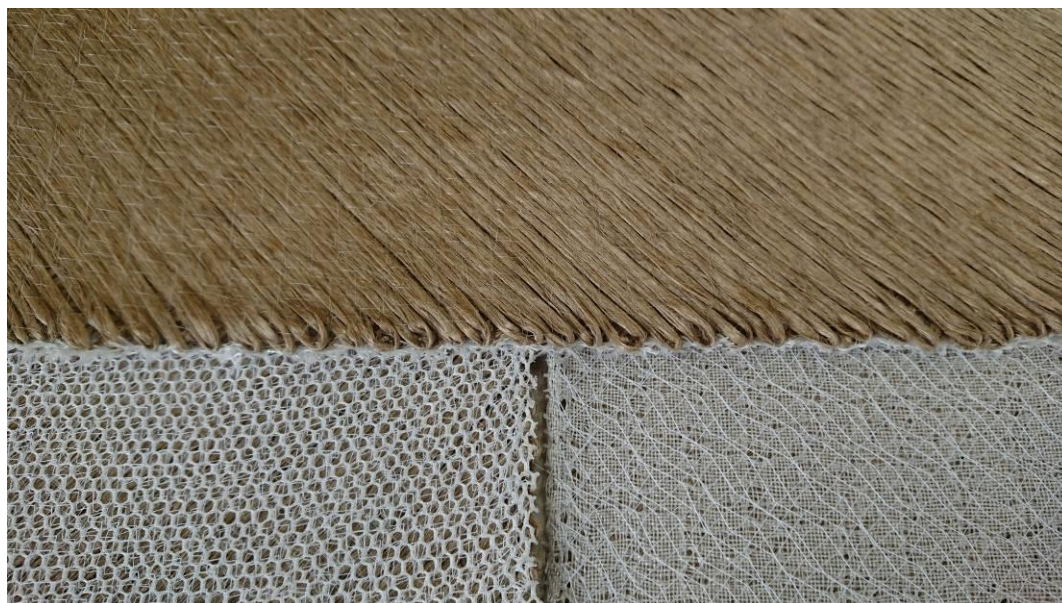


Figure 4 : supports pour NCF $\pm 45^\circ$. A gauche : tissu de type LENO, à droite : voile non-tissé PP



3.2. Grilles ouvertes fines

Les renforts pour HOWA TRAMICO doivent impérativement répondre aux critères suivants :

- **Légèreté** : la masse surfacique des renforts doit être inférieure à celle des mats de verre utilisés actuellement pour la fabrication des raidisseurs. La cible se situe autour de 70 g/m². Le titre minimal des rovings fabriqués par le Teillage Vandecandelaère étant de 300 tex (avec une production standard de rovings 500 tex), la seule solution pour atteindre des grammages aussi légers est d'avoir recouru à des préformes de type grilles ouvertes, qui permettent de proposer un renforcement optimal dans deux directions tout en conservant une masse surfacique faible.
- **Résistance mécanique** : les grilles doivent permettre d'obtenir des performances mécaniques équivalentes à celles mesurées avec les matériaux actuels, tout en allégeant le raidisseur.
- **Finesse** : les renforts, utilisés en peaux de structures sandwich, doivent rester invisibles sur la pièce finale. Il est donc important de produire des grilles plates les plus fines possibles, avec suffisamment de fibres pour garantir les performances mécaniques attendues.

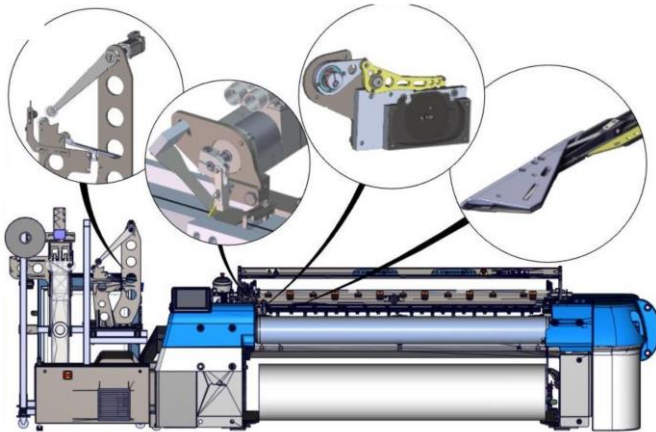


Pour ce faire, un **roving élargi** a été développé par Teillage Vandecandelaère. Il s'agit d'un roving 500 tex, dont les fibres ont été ouvertes (« spread tow ») au cours de procédé de fabrication durant l'étape de finition, présentée dans le chapitre 1. Cette modification du procédé de fabrication a permis de passer d'une largeur moyenne de 3 mm à une largeur moyenne de 5 mm, à titre équivalent, tout en conservant une bonne couverture (pas de vides dans la structure des rovings).

L'assemblage de ces rovings en grille est réalisé par tissage. L'inconvénient des machines à tisser actuelles est que lors de l'insertion de la trame, le battement du peigne a tendance à comprimer le fil de trame et à réduire fortement sa largeur. Les essais menés sur nos métiers confirment cet état de fait, et peu de différences ont été mesurées sur la largeur des rovings standards et les rovings élargis après tissage.

C'est la raison pour laquelle notre entreprise a investi dans un nouveau métier à tisser pour le projet FLOWER : ce métier dispose d'une technologie d'insertion de trame, ainsi que de lances et de pinces spécifiques permettant de conserver la largeur des rovings lors de leur tissage. Par ailleurs, le système de lisses utilisé pour l'intégration de la chaîne limite les déformations des rovings et ceux-ci conservent donc leur intégrité tout au long du tissage (voir figure 5).

Le seul fournisseur capable de fournir ce type de métier à tisser à des coûts acceptables est l'entreprise PANTER, chez qui nous avons pu effectuer des essais de prototypage sur renforts fermés.



Les essais ont permis de tester différents **duitages** et **contextures**, et un résultat très prometteur a été obtenu avec 1,7 fils par cm. Le renfort fermé obtenu présente une masse surfacique de 170 g/m² (voir figure 6), ce qui fait de lui un renfort fermé 100% lin parmi les plus légers du marché.



Figure 6 : renfort 100% lin à 170 g/m², obtenu par tissage à plat (métier PANTER)

En modifiant la contexture et le duitage à 0,7 fil par centimètre en chaîne et en trame, sans autre modification par rapport aux essais réalisés chez notre fournisseur, nous obtiendrons donc avec les mêmes rovings **une grille ouverte plate de 70 g/m²**, de très faible épaisseur.



Le métier à tisser a été commandé le **5 février 2019** et sera livré au mois de mai 2019. Dès réception, les premières grilles seront produites puis caractérisées par les partenaires du projet FLOWER.

4. Conclusion et perspectives

Ce livrable présente les technologies de mises en œuvre pour la fabrication des renforts développés et étudiés dans le cadre du projet FLOWER. Dans un premier temps, les différentes étapes du procédé de fabrication des rovings 100% lin ont été décrites, ainsi que les paramètres associés. A partir de ces rovings, et en tenant compte du cahier des charges des partenaires, deux nouveaux semi-produits ont été conçus : un NCF issu de nos rovings standards, et une grille légère et fine constituée de rubans élargis spécialement fabriqués pour les besoins de FLOWER. L'assemblage de ces nouveaux semi-produits a été étudié et les paramètres associés ont été décrits.

Plusieurs prototypes de renforts ont alors été fabriqués :

- Des NCF à $\pm 45^\circ$ fabriqués par TFP sur différents supports (non-tissé et LENO)
- Des tissus légers obtenus à partir de rovings 500 tex élargis et tissés chez le fournisseur du métier à tisser, dont l'investissement a été réalisé dans le cadre du projet FLOWER.

Dans la suite du projet, des quantités plus importantes de NCF seront fabriquées et caractérisées, afin de valider leurs adéquations avec les attentes de KAIROS. Dès réception de l'équipement PANTER, les premiers prototypes de grilles seront tissés puis caractérisés.