FLAX AND HEMP LIN ET CHANVRE

Matériaux : les nouveaux champs de recherche et développement pour la valorisation des fibres végétales techniques (lin fibres et chanvre)

Pierre Bono^{*}, Anne Le Duc, Marie Lozachmeur et Arnaud Day

FRD (Fibres Recherche Développement), Hôtel de Bureaux, Technopole de l'Aube en Champagne, 2 rue Gustave Eiffel, CS 90601, 10 901 Troyes Cedex 9, France

Reçu le 3 juillet 2015 – Accepté le 17 juillet 2015

Résumé – Les matériaux à base de fibres végétales techniques (lin et chanvre) sont une réalité depuis plusieurs années. Une étude récente de FranceAgriMer (Thonier et Bono, 2015) montre que leur développement est une réalité tout particulièrement dans le domaine du bâtiment (isolation, panneaux de particules, bétons), du transport (plasturgie, composite) et plus récemment des sports et loisirs et du luxe. Ces développements permettent de valoriser les propriétés différenciantes du lin fibre et du chanvre en matière de performance mécanique, de légèreté, d'amortissement des vibrations, d'isolation thermique ou phonique, d'absorption/désorption ou de bilan écologique. La poursuite de leur déploiement repose sur la capacité de nos filières à lever les principaux verrous technologiques encore à l'œuvre, à savoir : (1) amélioration des performances mécaniques par le fractionnement, (2) apport de nouvelles fonctions que le végétal n'a pas naturellement, (3) amélioration de la mise en œuvre des fractions en semi-produits et en matériaux, (4) maîtrise de la reproductibilité des performances. Elle repose également sur la capacité de l'ensemble des acteurs de ces filières à structurer des filières d'approvisionnement reconnues, permettant d'amener sur le marché une gamme complète de solutions (fibres, poudres, granulats, compounds, non-tissés, rovings, tissés), adaptées aux cahiers des charges clients, à un prix acceptable par tous les maillons de la chaîne de valeur. Une nouvelle économie est en train de naître.

Mots clés : Matériaux / lin / chanvre / fibres végétales techniques / fractionnement / fonctionnalisation / contrôle qualité

Abstract – **Materials: New fields of research and development for the valorization of technical plant fibers (flax fiber and hemp).** Natural fibre-based materials (flax and hemp) are a reality since several years. A recent study conducted by FranceAgriMer (Thonier et Bono, 2015) shows that their development became a reality, especially in the field of construction (insulation, board, concrete), transportation (thermoplastic, composite) and more recently sports, leisure & luxury. These developments enable to highlight the specific properties of flax and hemp fibres in terms of mechanical performances, lightweight, damping vibrations, thermal and phonic insulation, water sorption and desorption or carbon footprint. Their further deployment relies on the ability of our industries to address the main technological issues still at work, namely: (1) enhance mechanical performances through fractionation; (2) contribute new features to natural fibres; (3) enhance their processing into semifinished products and materials; (4) ensure performances reproducibility. It also relies on the ability of all the actors of this sector to structure recognized supply chains, thus allowing to bring on the market a complete range of solutions (fibres, powder, aggregates, compounds, nonwovens, rovings, weaved fabrics...). These solutions must be tailored to customers specifications, at a reasonable price for everyone among the value chain.

Keywords: Materials / flax / hemp / technical plant fibers / decortication / functionalization / quality management

1 Des ressources pour des usages

Selon la FAO, la production mondiale de fibres végétales (hors coton et bois) s'établit entre 4,5 et 5 millions de tonnes

^{*} Correspondance : pierre.bono@f-r-d.fr

chaque année. Cette production est concentrée en Asie du Sud-est à 75 %, tout particulièrement en Inde et au Bangladesh au travers du jute, de la fibre de coco ou du kenaf.

L'Europe produit 10 % de ce total. La France, grâce à la structuration de ses filières lin et chanvre, y occupe une place prépondérante en produisant 80 % de ces volumes, avec

Fig. 1. Production européenne de fibres végétales (2001–2008) (Meirhaeghe, 2011).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Diminution des déformations / retrait - Réduction des temps de cycle d'injection - Aspect des fibres - Amélioration de la rigidité et contrainte - Bonne acoustique - Matière non abrasive 	<ul style="list-style-type: none"> - Humidité des fibres - Dosage des fibres « longues » - Contrôle du procédé d'injection - Basses températures de transformation (odeurs liés à la dégradation des fibres) - Faibles propriétés d'impact

Fig. 2. Exemple de l'intérêt et limites de l'utilisation des fibres végétales techniques de chanvre et de lin en plasturgie.

Fig. 3. Diversité de l'offre de fractions végétales fibreuses (Meirhaeghe, 2011).

169 000 tonnes/an sur la période 2001–2008 (Meirhaeghe, 2011) (Fig. 1). Néanmoins, les fibres produites en Europe sont encore aujourd'hui utilisées majoritairement sur leurs marchés traditionnels dans le textile (à 66 % pour le lin)... ou dans les papiers spéciaux (à 70 % pour le chanvre), laissant des perspectives de report intéressantes pour le marché des fibres techniques.

L'utilisation de fibres végétales techniques dans le domaine des matériaux est conditionnée par leur capacité à amener des fonctions différenciantes, dans le respect du cahier des charges des industriels d'application. Leurs principaux avantages clés (Fig. 2) sont :

- leur légèreté ;
- leurs performances mécaniques ;

- leur propriété d'isolation thermique et phonique ;
- leur capacité à amortir les vibrations ;
- leur comportement en matière d'absorption/désorption ;
- leur origine en tant que matière renouvelable, dotée d'un Bilan CO₂ faible.

Ces avantages varient selon les secteurs d'application. Se comportant différemment des fibres synthétiques qu'elles remplacent, les fibres végétales techniques peuvent générer également un certain nombre d'inconvénients pour les utilisateurs industriels.

Actuellement, le terme « fibres végétales » regroupe une hétérogénéité très importante de fractions végétales et chacune de ces fractions possède une sémantique propre à leur filière (Fig. 3).

Fig. 4. Sémantique de présentation des fibres végétales techniques lin et chanvre à usage matériaux (Meirhaeghe, 2011).

Fig. 5. Synthèse des usages actuels et envisageables en fonction des fibres végétales disponibles (Meirhaeghe, 2011).

Les termes employés sont cohérents au sein de chacune des filières ; néanmoins il est évident que ces terminologies sont inadaptées à une sémantique générale des fibres végétales techniques. Pour seul exemple, une fibre longue de lin textile a une longueur de l'ordre du décimètre alors qu'une fibre longue de bois est de l'ordre du millimètre. C'est la raison pour laquelle FRD et l'ADEME font la promotion depuis 2011 d'une nouvelle sémantique des fibres végétales techniques commune à l'ensemble des filières.

Dans cette nouvelle sémantique, les fibres végétales au sens strict peuvent être divisées en 3 sous-classes différentes selon leur granulométrie : les fibres décimétriques, les fibres centimétriques et les fibres millimétriques et/ou inférieures. Les autres matières peuvent être divisées en 3 sous-classes différentes : les granulats, les poudres et farines (Fig. 4).

La morphologie de chaque type de fraction conditionne ses utilisations applicatives actuelles et potentielles. Ainsi chaque secteur industriel valorise un ou plusieurs types de fibres végétales techniques. Il est intéressant de noter que les fibres végétales disponibles en France permettent de couvrir l'ensemble des besoins industriels (Fig. 5).

En France, des projections récentes de l'ADEME à l'horizon 2030 (Gabenisch *et al.*, 2015) font état d'un besoin proche de 145 000 ha de lin et de chanvre, pour une production de pailles de l'ordre de 1 000 000 de tonnes, alors qu'aujourd'hui on estime à 130 000 tonnes les volumes de fractions techniques extraites des pailles de lin et de chanvre valorisées en matériaux (voir plus loin Fig. 16).

Fig. 6. Volumes par type de fibres et par type de plantes (Meirhaeghe, 2011).

À noter que sur la période 2001–2008 (Meirhaeghe, 2011), la France a produit en moyenne 619 000 tonnes de pailles, qui ont permis d'extraire 500 000 tonnes de ces fractions techniques, réparties entre 93 000 tonnes de fibres (dm), 76 000 tonnes de fibres [dm-cm], 330 000 tonnes de granulats et 60 000 tonnes de poudres sont obtenus. La part restante correspond aux graines (cas du lin fibre) et aux pertes (Fig. 6).

Pour couvrir les besoins futurs, les producteurs de fibres pourraient s'appuyer sur 3 leviers (Meirhaeghe, 2011) :

- report de la production de fibre des marchés traditionnels, vers les marchés des matériaux ;

Fig. 7. Le fractionnement une étape clé (source : FRD).

- augmentation des surfaces de production. Pour mémoire, 145 000 ha représentent 0,6 % de la surface agricole française ;
- importation de fibres exotiques, au-delà du flux actuel annuel de 130–140 000 tonnes au niveau européen.

Si la disponibilité de la ressource est aujourd’hui une réalité, l’enjeu majeur à long terme est de créer les conditions technologiques permettant de rendre apte ces matières à accéder à grande échelle aux cahiers des charges des industriels des matériaux.

2 Axes de recherche majeurs

2.1 Fractionnement

Le fractionnement est une étape clé de la chaîne de valeur fibres végétales techniques pour matériaux. Cette étape consiste à produire à partir des pailles des fractions ayant des propriétés spécifiques répondant aux cahiers des charges industriels. À l’issue du fractionnement, on distingue généralement les granulats, les poudres et les fibres selon leur longueur (mm, cm, dm).

Le fractionnement débute généralement dès la récolte des plantes (comme dans le cas du lin et du chanvre). L’itinéraire technique de récolte varie selon la morphologie de la paille, de la valorisation souhaitée (ou non) des graines, du mode de gestion des pailles et des technologies utilisées pour séparer mécaniquement les différentes fractions des tiges.

Lorsque la maturité des graines/des fibres (selon les souhaits de valorisation) est atteinte, les plantes sont récoltées en une ou plusieurs étapes : arrachage ou fauchage ou récolte des graines puis fauchage des tiges. Selon les plantes et la valorisation recherchée, les pailles peuvent être laissées étendues plus ou moins longtemps sur le sol même de la culture pour rouir. Ainsi soumises aux aléas climatiques, des microorganismes se développent sur ces pailles initiant la dégradation de ces dernières. D’un point de vue chimique, ce rouissage conduit prioritairement à la dégradation des composés pectiques constitutifs des jonctions mitoyennes entre les cellules

et donc responsables de la cohésion des fibres au sein des faisceaux. Le rouissage permet ainsi une extraction moins rude des éléments fibreux des pailles et conduit également à une matière mieux affinée. Il est nécessaire de souligner que le rouissage ci décrit, appelé rouissage à la rosé, constitue le mode actuellement le plus utilisé en Europe. Cependant d’autres méthodes de rouissage existent, leur plus faible utilisation s’expliquant par la législation environnementale et/ou leurs coûts plus élevés.

Une fois sèche (± 15 % d’humidité) la paille est mise en balle et rentrée. Après stockage, les balles sont amenées sur le site d’extraction des fibres. Ce principe permet de maintenir un flux constant de matière tout au long de l’année.

La paille subit ensuite une première série d’opérations mécaniques permettant d’obtenir différentes fractions végétales en fin de processus. Ces opérations constituent le processus de 1^{re} transformation, qui repose sur 3 étapes clés, avec (Fig. 7) :

- la décortication consiste, par une opération mécanique exercée sur la tige entière, à désolidariser la matière ligneuse (ou moelle) de la fibre libérienne ;
- la séparation consiste à séparer les différentes fractions végétales obtenues ;
- l’affinage se focalise sur les faisceaux afin de réduire le nombre de fibres unitaires par faisceau jusqu’à éventuellement l’obtention de fibres élémentaires.

En ce qui concerne les procédés d’extraction mécanique actuellement utilisés par la filière fibres végétales, la littérature montre que certains paramètres exercent une influence prépondérante sur la qualité des fibres et/ou sur l’efficacité des procédés : rouissage, humidité, paramètres de sollicitations mécaniques (Chevalier, 2009).

Les travaux de recherche relatifs au fractionnement des fibres végétales visent à :

- produire les fibres « idéales » demandées par les cahiers des charges industriels en jouant sur les enchaînements de procédés de séparation et d’affinage notamment ;
- améliorer la capacité à affiner les fibres végétales, l’objectif ultime étant d’extraire une fibre unitaire, constituée de

Fig. 8. Évolution des performances mécaniques (module d'Young) en fonction du diamètre des différents types de fibres (Bourg, 2009).

Fig. 9. Comparaison d'une fibre de lin défibrée industriellement (photo du haut) et manuellement (Photo du bas) (Bos, 2004).

la paroi d'une cellule, afin d'obtenir les meilleures performances mécaniques possibles (Fig. 8) ;

- développer des procédés respectueux des fibres et de leur intégrité. L'objectif est de réduire les apparitions des défauts à la surface des fibres qui sont autant de points de rupture potentiels impactant leur propriété mécanique (Fig. 9) ;

- développer des procédés générant des économies d'échelle en réduisant les étapes de transformation. Exemple de la société Dehondt Technologies qui cherche à développer une ligne de teillage de lin permettant de produire une fibre (dm) de lin à moindre coût afin de réduire les coûts de fabrication de semi-produits liés (rovings, multiaxiaux, tissus).

2.2 Fonctionnalisation

L'objectif de la fonctionnalisation est de conférer aux fractions végétales des propriétés spécifiques, qu'elles ne possèdent pas initialement, par le biais d'un traitement.

Les actions de recherche portent classiquement sur les 3 fonctions clés relatives à (Fig. 10) :

- l'amélioration de l'interface fibres/matrice, afin d'améliorer par exemple les propriétés mécaniques et la tenue au choc des pièces plastiques (extrusion, injection) et composites. Une fonction clé dans le domaine du transport ;
- la protection contre l'absorption en eau et la maîtrise des taux d'humidité (hydrofugation), fonction clé dans le domaine du bâtiment ou du nautisme ;
- la résistance au feu (ignifugation), fonction clé dans le domaine du transport hors automobile (ferroviaire, nautisme, aéronautique) et du bâtiment.

En complément, selon les spécificités des marchés visés des propriétés spécifiques peuvent être recherchées : antifongique, antibactérien, anti-salissures (oléophobe), stabilité thermique, stabilité UV, antistatique, coloration...

Si l'amélioration de l'interface fibre/matrice est l'axe majeur de recherche au niveau mondial, force est de constater que peu ou pas d'action ont été engagées sur les solutions de fonctionnalisation et les process d'application de ces solutions tant sur les fractions végétales techniques (fibre, granulat, poudre) que sur les semi-produits qui en sont issus.

Verrous technologiques	Impacts et Marchés concernés	Leviers
Performance aux chocs, rigidité	Transport	Adhésion fibres/matrice
Résistance au feu	Ferroviaire	Ignifugation
Reprise en humidité	Nautisme Processabilité des fibres végétales	Hydrofugation
Cohésivité des fibres courtes	Bétons Injection SMC, BMC	Enrobage de la fibre
Retard de prise	Bétons	Enrobage du granulat

Fig. 10. Exemples de stratégie de fonctionnalisation (source : FRD).

Fig. 11. Schéma de synthèse des chaînes de valeur fibres végétales techniques pour matériaux (source : FRD/Projet investissement d'avenir Sinfoni).

2.3 Semi-produits et mise en œuvre matériaux

L'accès au marché des matériaux des fibres végétales techniques nécessite (sauf cas particulier) une étape de 2^e, voire 3^e transformation, avant d'être incorporés dans les processus de mise en œuvre des matériaux biosourcés.

Dans le domaine de la plasturgie les fibres (cm) sont fractionnées à 2–3 mm afin d'être incorporées dans des compounds, semi-produits issus de la plasturgie ayant la forme d'un granulé prémélangeant une fibre de renfort, un polymère et un additif, prêt pour la mise en forme finale. Les polymères les plus utilisés en complément des fibres sont le PP, le PE¹ ou le PA.

Dans le domaine des composites, les fibres techniques sont mises en forme selon des process textiles ou assimilés pour produire des non-tissés, ou des fils qui seront assemblés pour être tissés, tressés ou tricotés (Meirhaeghe, 2011).

On peut retenir principalement (Fig. 11) :

- le non-tissé (ou mat ou feutre) est un voile ou matelas de fibres (cm) agencées aléatoirement, liées par action mécanique, chimique, pneumatique ou papetière ;
- le roving est un assemblage continu de fibres (dm) alignées, liées par une faible torsion permettant la cohésion de l'ensemble ;
- l'unidirectionnel est constitué de fibres (dm), fils ou rovings alignés selon une direction principale ;
- le multiaxial est constitué d'unidirectionnels superposés selon deux ou plusieurs directions (ex : +45°, -45°) liés par une couture inter-nappes ;
- le tissu est un assemblage régulier de fils ou rovings disposés perpendiculairement selon un agencement spécifique appelé armure ;
- le pré-imprégné est une structure textile traitée avec une résine thermodurcissable non réticulée ou une résine

thermoplastique. Il existe plusieurs procédés de pré-imprégnation : en solution, en voie fondue, le poudrage, l'hybridation et le transfert.

Ces semi-produits sont mis en forme dans le cadre des procédés en vigueur dans l'industrie des matériaux, selon le type de matériau visé.

Si l'on prend l'exemple des secteurs de la plasturgie et des composites, une très grande partie des procédés actuels sont adaptés ou adaptables aux fibres techniques végétales et aux semi-produits liés. Les niveaux de température ne doivent cependant pas excéder généralement 180–200 °C et l'humidité résiduelle de la matière doit être prise en compte avant toute transformation à plus de 100 °C.

À chaque marché d'application, correspond une famille de procédés de mise en œuvre de ces matériaux et un type de fibres végétales techniques ou de semi-produits liés (Fig. 12).

Dans le cadre de cet exemple, l'enjeu pour les industriels de la plasturgie ou des composites est ainsi de sélectionner les renforts les mieux adaptés à leurs procédés, au niveau de performance recherchées, à un prix d'acquisition acceptable.

Les enjeux pour la filière fibres végétales techniques sont ainsi principalement de :

- rendre disponible cette gamme de semi-produits pour couvrir l'ensemble des besoins industriels, sur le modèle des gammes de fibres de verre disponibles sur le marché ;
- adapter les performances de cette gamme aux besoins des industriels des matériaux, que ce soit en matière de performance intrinsèque ou de processabilité (incorporation, imprégnation, découpe, réparation...) (Fig. 13) ;
- rendre visible la réalité des performances obtenables à partir des semi-produits disponibles sur le marché, par la constitution notamment de bases de données dédiées ;
- améliorer les procédés de production et créer les conditions d'économie d'échelle afin de mettre sur le marché des produits à des prix compétitifs. C'est déjà le cas pour

¹ PE = PolyEthylène.

Domaines d'application	Procédés thermoplastiques	Procédés thermodurs	Produits
Automobile	Injection/moulage, estampage, thermo-compression	SMC, BMC, RIM	Fibres [mm], fibres [cm], compounds, non-tissés, rovings/fils
BTP	Extrusion, laminage	Pultrusion, enroulement filamenteux	Fibres [mm], fibres [cm], compounds, rovings/fils
Electricité/électronique	Injection/moulage, extrusion, laminage	SMC, BMC, RIM	Poudres et farines, fibres [mm], fibres [cm], compounds, non-tissés, rovings/fils
Aéronautique	Injection/moulage, extrusion	RTM, infusion	Non-tissés, tissus, UD, multiaxiaux, rovings
Ferroviaire		Moulage au contact, projection simultanée, RTM	Non-tissés aiguilletés, non-tissés hydroliés, tissus, UD, multiaxiaux, rovings, fibres [mm], fibres [cm]
Sport et loisirs	Injection/moulage, extrusion, estampage	Moulage au contact, projection simultanée, RTM, infusion, pultrusion	Fibres [mm], fibres [cm], compounds, non-tissés, tissus, UD, multiaxiaux, rovings, fibres [mm], fibres [cm]
Médical	Injection/moulage, extrusion		Poudres et farines, fibres [mm], fibres [cm], compounds
Nautisme		Moulage au contact, projection simultanée, RTM, infusion	Non-tissés aiguilletés, non-tissés hydroliés, tissus, UD, multiaxiaux, rovings, fibres [mm], fibres [cm]
Biens de consommation	Injection/moulage, extrusion, estampage	Pultrusion, enroulement filamenteux, SMC, BMC	Poudres et farines, fibres [mm], fibres [cm], compounds, non-tissés, tissus, UD, multiaxiaux, rovings
Eolien		Moulage au contact, projection simultanée, RTM, infusion	Non-tissés, tissus, UD, multiaxiaux, rovings, fibres [mm], fibres [cm]

Fig. 12. Adéquation/marché/procédés/nature des fibres végétales techniques fournies. Exemple de la plasturgie et des composites (Collectif FRD, 2015).

Fig. 13. État de l'art des performances mécaniques de composites à base de semi-produits issus de fibres végétales techniques (Lozachmeur, 2014).

les compounds et les non-tissés. Ces efforts restent à faire pour les autres semi-produits ;

- valoriser les fonctions différenciantes de ces semi-produits en matière d'allègement ou d'amortissement des vibrations par exemple ;
- faciliter l'accès à la mise en œuvre de ces nouveaux produits en substitution des approvisionnements classiques par la mise en place d'accompagnement à la mise en œuvre.

2.4 Contrôle qualité

Les cahiers des charges auxquels doivent satisfaire les matériaux et indirectement les fibres végétales techniques qui les composent restent très exigeants, notamment pour une ressource naturelle, soumise, à la base, aux aléas climatiques de sa

culture. Ainsi, une des questions clés pour la filière est de maîtriser les liens entre fibre botanique et fibre industrielle technique : la première se rapportant aux propriétés, à la composition et aux rôles de la fibre dans la plante ; la seconde, aux propriétés et aux exigences de l'application industrielle.

Les enjeux pour la filière fibres végétales techniques sont ainsi principalement :

- d'identifier les propriétés-clés que les fibres techniques et semi-produits liés doivent avoir afin de garantir les performances finales des matériaux les incorporant. Cela demande un travail de fond engagé par FRD et d'autres acteurs de la filière afin de traduire les cahiers des charges industriels en propriétés matériaux, puis décliner ces propriétés globales en propriétés-clés de la fibre technique à fournir ;

Fig. 14. Sinfoni : création de 14 fiches techniques pour un suivi qualité tout au long de la chaîne de valeur (Source : FRD/Projet investissement d'avenir Sinfoni).

- de connaître et maîtriser la variabilité supposée de ces fibres techniques et semi-produits ;
- de mettre en place un système de management de la qualité des matières tout au long de la chaîne de valeur du champ au matériau fini, basé sur la mise en place de fiches techniques reposant sur des méthodes d'analyses reconnues et éprouvées ;
- de développer des méthodes de mesures plus rapides, plus fiables et compatibles avec l'économie de cette filière en développement ;
- de normaliser un certain nombre de ces méthodes ;
- de mettre en œuvre un contrôle qualité opérationnel garantissant la reproductibilité des performances des matières approvisionnées, en conformité avec les cahiers des charges clients.

Le projet investissement d'avenir SINFONI (Encadré) a engagé des travaux de fonds dans ce cadre afin d'identifier les propriétés clés des fibres végétales techniques, de mettre en place des fiches techniques adaptées à cette ressource, de créer de nouvelles méthodes d'analyses en les éprouvant par des essais interlaboratoires et de définir des « bonnes pratiques d'approvisionnement » basées sur un contrôle qualité de toute la chaîne de valeur. Une démarche ultime dans ce processus de maîtrise de la qualité de la fibre sera celle de proposer des protocoles de caractérisation adaptés aux fibres végétales et aux matériaux qui en découlent afin d'obtenir un référentiel unique partagé par le monde de la recherche et par celui de l'industrie (Fig. 14).

3 Matériaux : une réalité de marchés

Les fibres végétales techniques telles que le lin fibre et le chanvre sont utilisées dans la mise en œuvre de 6 familles de matériaux (Fig. 15) :

- Les isolants souples à base de chanvre ou de lin (moins de 1 % du marché [2]), produits par 4 fabricants majeurs

tels que notamment Buitex ou la Cavac biomatériaux. Ils utilisent des fibres de chanvre ou des étoupes de lin qui sont des fibres d'une longueur de l'ordre du centimètre (cm). La conductivité thermique pour une laine de chanvre et de lin varie de 0,036 à 0,044 W/m.K. Les produits peuvent être des panneaux (30 à 35 kg/m³) ou des laines (20 à 25 kg/m³). Leur production annuelle est estimée à 5300 tonnes d'isolants, utilisant ±4000 tonnes de fibres (cm) de chanvre principalement et de lin dans une moindre mesure.

- Les panneaux techniques de particules. Ils valorisent les propriétés différenciantes des anas de lin (granulats issus du cœur de la paille), dans le domaine des portes coupe-feu du fait de leur richesse en phosphate, et en matière d'ameublement / plan de travail de cuisine... du fait de leur légèreté qui permet de produire des panneaux près de 2 fois plus légers (±350 kg/m³). Leur production annuelle est évaluée à 330 000 tonnes pour une utilisation d'anas de l'ordre de 120 000 tonnes, par les deux producteurs français de panneaux que sont De Sutter Frères et Linex SA.
- Les bétons techniques de chanvre ou de lin. Il s'agit exclusivement de béton isolant thermique. Ils utilisent uniquement des granulats issus de la partie centrale des pailles. Le béton de chanvre, béton biosourcé le plus ancien en France (1985), était utilisé jusqu'à une période récente en tant que béton d'isolation thermique en remplissage de murs à ossature (bois, poutrelle métallique, béton armé) : béton, mortier, enduit. Depuis une dizaine d'années se développent les blocs bétons (ou parpaings) et plus récemment les murs préfabriqués à l'initiative de sociétés telles que Chanvribloc, MNBC ou Novishol. Ils utilisent 15 à 20 % de la production de chènevotte, pour une production annuelle estimée à 40 000 tonnes de bétons. L'utilisation d'anas de lin est à ce jour confidentielle.
- Les pièces thermocompressées à base de non tissés. Il s'agit de pièces issues de la transformation de non-tissés à base de lin, de chanvre mixés avec des fibres exotiques

Fig. 15. Les fibres végétales techniques telles que le lin fibre et le chanvre sont utilisées dans la mise en œuvre de 6 familles de matériaux : les isolants souples à base de chanvre ou de lin (Fig. 15a), les panneaux techniques de particules (Fig. 15b), les bétons de chanvre ou de lin (Fig. 15c), les pièces thermocompressées à base de non tissés (Fig. 15d), les pièces plastiques injectées renforcées en fibres végétales (Fig. 15e), les composites à fibres végétales continues (Fig. 15f).

(jute, kenaf...) et de 50 % de fibres de polyéthylène. Selon PSA et Renault, ce sont ces pièces qui constituent actuellement quasi intégralement la part de matériaux biosourcés dans un véhicule. Ces pièces sont destinées notamment à la production de tableau de bord, panneau de porte, pavillon/montant de baie, tablette arrière/passage de roue. Leur production est de l'ordre de 2000 à 3000 tonnes par an, 50 % des fibres végétales utilisées étant des fibres (cm) de lin.

- Les pièces plastiques injectées renforcées en fibres végétales. Ce sont des pièces en cours de déploiement sur les marchés suite aux travaux de recherche conduits notamment par Faurecia et AFT plasturgie à base de PP²/Chanvre (projet NAFI) à court terme et à base de PBS³ biosourcé/chanvre (projet Biomat) ou issus des développements d'Arkema à base de PA⁴/Lin à moyen-long terme. Leur industrialisation en phase d'amorçage représente un volume de l'ordre de 500 tonnes, avec un taux d'incorporation de chanvre de 20 à 30 %.
- Les composites à fibres végétales continues. En pleine phase de recherche et de développement, ces matériaux sont de fait peu utilisés à ce jour. Le domaine des sports et loisirs est le plus dynamique. Ainsi, un certain nombre de produits (vélo, raquette de tennis, snowboard...) ont été mis sur le marché au cours des cinq dernières années à partir de composites thermodurcissables intégrant des renforts lin (unidirectionnels, multiaxiaux...), permettant soit de valoriser les propriétés d'amortissement des fibres de lin (comparativement aux fibres de carbone), soit de valoriser leurs propriétés d'aspects. *A contrario*, sur les marchés

du ferroviaire, du nautisme et de l'aéronautique, le taux d'utilisation de ces nouveaux matériaux est relativement anecdotique à ce jour. Les volumes de production ne sont pas estimés (Fig. 16).

Le développement de l'utilisation des fibres techniques de lin et de chanvre a été engagé dans les années 1950–1960 avec l'apparition des panneaux techniques à base d'anas de lin. Il s'est poursuivi dans les années 1980–1990 avec la création du béton de chanvre et la mise en production des non-tissés et isolants à base de lin ou de chanvre. Plus récemment, AFT plasturgie a été précurseur dans la valorisation des fibres (cm) de chanvre dans la plasturgie et Lineo et Biorenforts dans la valorisation des fibres (dm) de lin dans les composites (Fig. 17).

4 Une nécessaire structuration de filière : une nouvelle économie est en train de naître

La valorisation des fibres techniques végétales et des semi-produits liés est aujourd'hui une réalité dans l'ensemble des domaines des matériaux : isolants, panneaux, bétons, plasturgie, composites. Une étude récente de l'ADEME (Gabenisch *et al.*, 2015) projette une croissance significative de ces matériaux qui pourraient mobiliser à l'horizon 2030, 145 000 ha de lin et de chanvre en France.

Ces perspectives de développement sont liées aux performances différenciantes de ces matières (renforcement, allègement, isolation, amortissement...), mais aussi à la capacité d'entreprises visionnaires à mettre au point des innovations clés, à s'organiser, à investir et à prendre des risques.

² PP = PolyPropylène.

³ PBS = PolyButylène succinate.

⁴ PA = PolyAmide.

Typologie de matériau	Type de fibres et renforts	Volume de chanvre et de lin incorporé (tonne)	Volume mis sur le marché (tonne)
Isolants souples (chanvre, lin...)	Fibre [cm]	± 4 400	5 300
Panneaux techniques de particules	Granulats	120 000	330 000
Bétons de chanvre ou de lin	Granulats	5 000	40 000
Pièce thermocompressée à base de non-tissés	Non-tissé	900 – 1000	± 2 500
Pièce plastique injectée renforcée en fibres végétales	Fibre [mm]	100	500
Composite à base de fibres continues et matrices biosourcés	Non-tissé, roving, tissu, unidirectionnel, multiaxiaux...	ε	ε
Total		> 130 450	

Fig. 16. Volumes de matériaux biosourcés issus de fibres techniques de chanvre et de lin (source : FRD/Afriat *et al.* (2014)).

Fig. 17. Dates clés de la mise en marché des matériaux à base de fibres végétales techniques lin et chanvre (source : FRD).

Le changement d'échelle afin de permettre d'atteindre ce potentiel repose sur :

- la nécessité que des industriels d'aval s'impliquent dans la production et la mise au point de procédés/matériaux clés en main pour des marchés spécifiques ;
- la nécessité que des acteurs industriels se fédèrent et s'organisent afin de structurer des filières d'approvisionnement en fibres végétales techniques à destination des principaux marchés des matériaux ;
- la mise en place d'organisation de filière collective permettant de donner une vision claire et transparente sur les règles de fonctionnement de ces filières, avec notamment la mise en place de système de management de la qualité, permet-

tant de garantir la reproductibilité des qualités fournies par cahier des charges applicatifs ;

- le renforcement du tissu industriel de 2^e/3^e transformation, afin de disposer d'une gamme complète de solutions.

Plusieurs initiatives ont été prises au niveau national, avec l'exemple des dynamiques créées avec les projets LINT, FIA-BILIN ou SINFONI dédiées à la structuration de filière d'approvisionnement en matériaux lin et/ou chanvre technique.

Une nouvelle économie est ainsi en train de naître basée sur des filières industrielles locales et ancrées sur leur territoire de production, et des matières à gain environnemental significatif et démontré.

Le projet investissement d'avenir SINFONI fédère la filière nationale d'approvisionnement « fibres techniques végétales lin et chanvre à usage matériaux » en réunissant des acteurs industriels et académiques complémentaires sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

Ses objectifs :

- **Garantir** aux industriels d'application **la disponibilité en volume et en prix d'une gamme de granulats, fibres et renforts** (compounds, non tissés, UD, tissés) pour les marchés du Bâtiment et des Composites.
- Fournir des matières végétales **à performance optimisée et différenciante par cahier des charges d'application cible.**
- **Certifier** que la **chaîne d'approvisionnement** amont respecte des **standards de qualité**, avec la mise en œuvre d'une démarche de **traçabilité**.
- Fournir des matières apportant des **gains environnementaux démontrés**.

Partenaires : APM, Armines, Bombardier, Calira, CDE, Cetelor, Crepim, Decock, Ecotechnilin, ENSAIT, Eyraud, Faurecia, FRD, INRA, Lafarge, LCDA, Lille 1, Soprema, Stratiforme, Total Lubrifiants.

Pour en savoir plus

FRD (www.f-r-d.fr) est une société de recherche :

- Dédiée à la valorisation des fibres végétales en matériaux (isolation, panneaux, bétons, plasturgie, composites)
- Créée par 11 actionnaires producteurs de fibres et de semi-produits (lin, chanvre, miscanthus, lin oléagineux, bois) et acteurs majeurs de la valorisation des agro-ressources (ARD, Avril)
- Positionnée au cœur du Pôle de compétitivité Industries et Agro-Ressources, en Picardie – Champagne-Ardenne

5 domaines de compétences :

- Base de connaissance des marchés, des produits, des acteurs, des cahiers des charges, des procédés, de la ressource et de sa mobilisation
- Fractionnement et fonctionnalisation des fibres et des semi-produits
- Mise en œuvre de matériaux incorporant des fibres végétales : isolation bétons, panneaux, plasturgie, composites
- Caractérisation et management de la qualité
- Montage et pilotage de projet de R&D.

Références

- Afriat D, Lebouteiller G, Bono P. 2014. Identification des gisements et valorisation des matériaux biosourcés en fin de vie en France. Étude ADEME.
- Bos. 2004. The potentiel of flax fibres as reinforcement for composites materials. Thèse de doctorat, Université Technique d'Eindhoven.
- Bourg V. 2009. État des lieux sur les bases de données fibres végétales et étude des marchés potentiels. Étude FRD.
- Chevalier B. 2009. État des lieux des performances des procédés d'extraction des fibres végétales. Étude FRD.
- Collectif MSI. 2013. Le marché des produits d'isolation thermique pour le bâtiment en France.

- Collectif FRD. 2015. Fibres et Renforts végétaux : solutions matériaux.
- Gabenisch A, Maës J, Mandret N. 2015. Marché actuel des produits biosourcés et évolutions à horizons 2020 et 2030. Étude ADEME.
- Lozachmeur M. 2014. Renforts fibres naturelles pour les marchés de la plasturgie et des composites : une gamme de solutions innovantes. Présentation FRD, colloque SFIP-ISPA.
- Meirhaeghe C. 2011. Évaluation de la disponibilité et de l'accessibilité des fibres végétales à usages matériaux en France. Étude FRD subventionnée par l'ADEME.
- Thonier G, Bono P. 2015. Enjeux de la valorisation de la biomasse en matériaux biosourcés. Observatoire national de la ressource en biomasse FranceAgriMer.

Cite this article as: Pierre Bono, Anne Le Duc, Marie Lozachmeur, Arnaud Day. Matériaux : les nouveaux champs de recherche et développement pour la valorisation des fibres végétales techniques (lin fibres et chanvre). OCL 2015, 22(6) D613.