

Matériaux à base de fibres végétales

Etat de la technique et possibilités de développement

Andreas Keller, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Le renforcement des matières plastiques à l'aide de fibres végétales diminue les problèmes d'élimination, car les matériaux à base de fibres végétales sont plus faciles à recycler ou à brûler que les matériaux à base de fibres de verre. Lorsque des matières plastiques biodégradables sont renforcées à l'aide de fibres végétales, ces matières restent biodégradables et peuvent également être utilisées dans des situations où elles sont soumises à des charges. Les fibres de

chanvre utilisées jusqu'ici affichent un potentiel de renforcement qui n'est pas entièrement exploité, car les fibres se présentent en faisceaux. De ce fait, il est impossible d'obtenir une distribution homogène des fibres dans la matrice. Le dégommage des faisceaux de fibres libère les fibres élémentaires, avec lesquelles il est possible d'obtenir un effet de renforcement, presque aussi performant qu'avec les fibres de verre. Ainsi, la résistance à la traction d'une matière

plastique biodégradable a pratiquement pu être doublée grâce à son renforcement par 27 % de fibres de chanvre dégommées. Le renforcement a également multiplié par quatre la rigidité de la matière. On pourrait encore améliorer les propriétés mécaniques des matières en augmentant la longueur moyenne des fibres de chanvre qui composent l'élément structural. Pour ce faire, il faudrait développer de nouveaux procédés de fabrication permettant de ménager les fibres. Un taux de fibres croissant n'apporte pas uniquement une augmentation des propriétés mécaniques, mais accélère également la décomposition biologique du matériau composite dans la terre. De cette manière, il est possible de déterminer le processus de décomposition des éléments structuraux en fonction des applications, p. ex. pots de germination destinés à l'horticulture.

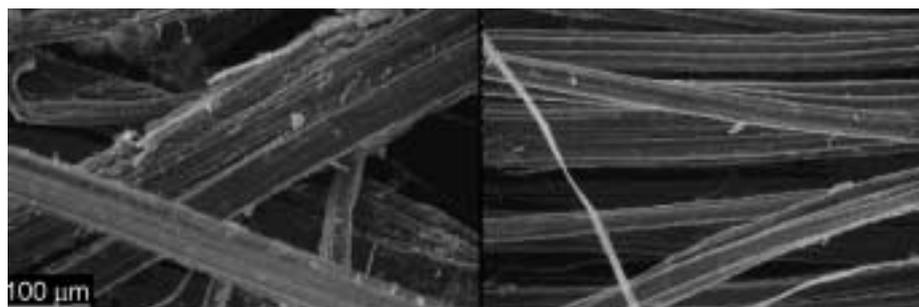


Fig. 1: A gauche: Photo MEB de fibres de chanvre séparées mécaniquement. 20 à 50 fibres élémentaires sont réunies en un faisceau de fibres par des substances colleuses. A droite: Les fibres de chanvre séparées par explosion de vapeur sont bien isolées grâce à l'élimination de la majeure partie des substances colleuses. Leur surface semble plus lisse que celle des fibres séparées mécaniquement.

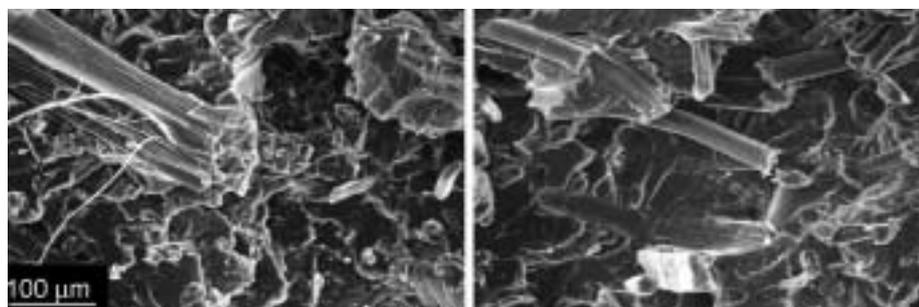


Fig. 2: La photo MEB de gauche montre une surface de rupture d'un matériau composite en copolyester renforcé avec 25% de fibres séparées mécaniquement. Les fibres élémentaires des faisceaux n'ont pas été séparées par les processus d'extrusion et d'injection, tandis que les fibres séparées par explosion de vapeur, dans le matériau figurant sur la photo de droite, apparaissent réparties de manière homogène.

Sommaire	Page
Glossaire	2
Etat de la technique	2
Quels sont les problèmes?	2
Solution	3
Etude des procédés de fabrication d'un matériaux de qualité à base de fibres végétales	4
Matériaux composites biodégradables	7
Conclusions	9
Bibliographie	10

Glossaire

Carder	Démêler les fibres à la machine et les ordonner en un non-tissé homogène (ruban de carde).
Chênevotte	Fragments du cœur en bois d'une plante libérienne, obtenus par le processus de décortication.
Compounding	Introduction de produits additionnels comme les fibres dans un plastique fondu.
Dégommage	Action d'enlever la gomme.
Gomme	Principal composant des lamelles moyennes y compris des éléments non composés de cellulose des parois cellulaires primaires et secondaires dans les plantes libériennes.
Limite d'étirement	Mesure de dimension. C'est à partir de cette tension que commence la déformation plastique d'un matériau.
Matrice	Dans les matériaux composites: support dans lequel sont insérées les fibres ou les matières de remplissage.
Médiane	Valeur centrale (valeur statistique): valeur, qui se situe au centre dans une série statistique ordonnée en ordre croissant ou décroissant.
Mélange-maître	Additifs concentrés pour le compounding des plastiques.
Module E	Mesure de la rigidité d'un matériau.
Polymère	Matériau composé de molécules à base de plusieurs milliers à plusieurs centaines de milliers d'atomes.
Pultrusion	Processus continu conduisant à la fabrication de profilés de composites à base de fibres.
Résistance aux chocs	Mesure de l'énergie dépensée à la rupture. Faible résistance aux chocs = cassant.

Etat de la technique

Les plantes se composent d'éléments qui peuvent résister aux charges. Ces éléments apparaissent souvent sous la forme de matériaux composites à base de fibres. Le bois ou les tiges des graminées se composent par exemple de fibres de cellulose, prises dans de la lignine, de la pectine et de l'hémicellulose. Plusieurs de ces composites à base de fibres naturelles présentent des propriétés mécaniques, susceptibles d'être utilisées dans les domaines techniques. Certes, leur utilisation pour la construction d'éléments structuraux à base de surfaces irrégulières est limitée par leur faible capacité à être déformées. Pour palier à cet inconvénient, les fibres naturelles peuvent être extraites de la plante par des procédés mécaniques et réassembler, à l'aide de polymères synthétiques ou naturels, en de nouveaux matériaux com-

posites, susceptibles d'être transformés à l'échelle industrielle. Les non-tissés de fibres naturelles, généralement imprégnés de polypropylène comme matrice, servent déjà à fabriquer des pièces par moulage par compression dans l'industrie. C'est ainsi notamment que les entreprises comme Audi, BMW, Ford, Seat et VW fabriquent les garnitures de portes et les garnitures latérales, les plaques et protection latérales des coffres arrière à partir de composites à base de fibres naturelles [1]. Par rapport aux matériaux à base de fibres de verre, ces matières sont plus légères et se comportent mieux en cas de crash. Outre ces matières composites qui sont transformées en éléments structuraux à géométrie simple, des efforts sont également faits pour obtenir des pièces injectées renforcées avec des fibres végétales, pour la fabrication de petites pièces jusqu'à des pièces de la taille d'une harasse. Outre le polypropylène, matière

synthétique renforcable classique, on utilise également ici des matières à base de résine naturelle ou de lignine. La technique de mise en place et de récolte des plantes à fibres indigènes comme le lin et le chanvre est très développée et peut s'adapter aux besoins industriels. Mais le marché de ce genre de matières, n'est, lui, encore que très peu développé. Il s'agit donc de donner de nouvelles impulsions au marché des matériaux composites en créant d'autres produits grâce à des innovations sur le plan du développement des matériaux.

Quels sont les problèmes?

Couleur et odeur

Pour produire les pièces en matière plastique en séries, le degré d'automatisation doit être élevé. A ce niveau, les techniques thermoplastiques, comme le moulage par injection et le pressage à chaud se sont imposées. Ces procédés sont de plus en plus employés également dans le secteur des pièces fibro-renforcées, à cause notamment des excellentes qualités de recyclage des matériaux thermoplastiques. Les thermoplastiques employés comme le polypropylène, le polyéthylène ou le polyamide sont travaillés à des températures comprises entre 150 et 300 °C. C'est à ces températures en effet que les substances gommeuses, qui accompagnent les fibres végétales séparées mécaniquement, se décomposent. Les produits de décomposition entraînent d'une part une coloration foncée des plastiques et se caractérisent ensuite par l'odeur forte que dégagent les pièces produites. La coloration ne permet pas de teindre le plastique à l'aide d'un mélange-maître, ce qui veut dire que les pièces concernées ne peuvent avoir pratiquement aucune fonction décorative sans être préalablement laquées ou laminées. Ce point constitue un inconvénient de taille pour de nombreuses appli-

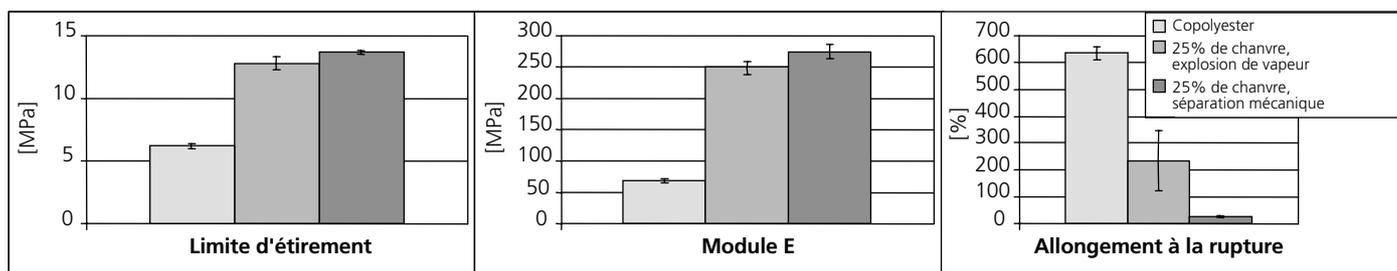


Fig. 3: Propriétés mécaniques des barreaux de traction en copolyester, renforcés par des fibres de chanvre séparées mécaniquement et par des fibres de chanvre séparées par explosion de vapeur.

cations. L'odeur forte dégagée par les pièces empêche leur utilisation dans de petits espaces clos, pour l'habillage intérieur des automobiles par exemple. Pour fabriquer des pièces sans odeur, il faudrait choisir des températures de transformation plus basses, au détriment alors des propriétés mécaniques de la pièce.

Propriétés mécaniques

Malgré les excellentes propriétés mécaniques des fibres, les matériaux composites à base de fibres naturelles, utilisés actuellement sont moins solides que les composites à base de polypropylène de fibres de verre et surtout moins résistants aux chocs. Ces propriétés empêchent leur utilisation dans des situations qui impliquent la résistance à des charges. Ce phénomène s'explique par le fait que les fibres utilisées, séparées de manière purement mécanique, se présentent sous forme de faisceaux et non sous forme de fibres isolées. C'est pourquoi il est impossible d'obtenir une répartition homogène des fibres dans le matériau. En cas de charge, les tensions se concentrent à la surface entre les faisceaux et la matrice plastique, et peuvent conduire à la rupture de la pièce.

Solution

Les tensions créées par les faisceaux de fibres à l'intérieur des matériaux s'exerceraient sur un volume plus important si les fibres utilisées étaient séparées et réparties de manière homogène. Les tensions seraient donc également plus faibles. Ce procédé différent est parfaitement illustré par l'exemple suivant:

Un matériau en copolyester thermoplastique a été renforcé par des fibres de chanvre à l'aide du procédé de compounding avec une extrudeuse à deux vis [2]. Pour ce faire, on a utilisé d'une part des fibres de chanvre décortiquées de manière mécanique et d'autre part des fibres de chanvre décortiquées jusqu'aux cellules à l'aide d'un procédé par explosion de vapeur (fig. 1).

Les surfaces de rupture des pièces injectées fabriquées à partir de ces fibres ont été observées au microscope et montrent que les faisceaux des fibres décortiquées mécaniquement n'ont pas été séparés par les procédés d'extrusion et de moulage par injection (fig. 2).

Les propriétés mécaniques de ces deux matériaux déterminées par un test de trac-

tion indiquent que la limite d'étirement du matériau en polyester a pu être doublée grâce au renforcement par les fibres de chanvre (25%), indépendamment du type de fibres (fig. 3). Le module d'élasticité est presque multiplié par quatre.

Les différences liées aux deux types de fibres se répercutent dans l'allongement à la rupture des matériaux composites: l'allongement à la rupture des matériaux composites à base de fibres élémentaires était de 248 %, tandis qu'il n'était plus que de 26 % dans les matériaux composites à base de faisceaux de fibres. Cela signifie qu'en cas de rupture, le matériau à base de faisceaux de fibres peut absorber nettement moins d'énergie. Contrairement au matériau à base de fibres élémentaires, il est donc cassant. Ce phénomène s'explique par l'agglomération des fibres due aux faisceaux et aux défauts potentiels ainsi créés. La séparation des fibres végétales jusqu'au stade des cellules biologiques des fibres permet d'améliorer les propriétés mécaniques des matériaux composites à base de fibres végétales à tel point qu'on peut songer à les utiliser dans des situations où ils doivent résister à des charges. D'autre part, ces fibres sont libérées des substances gommeuses par le procédé de séparation, ce qui accroît leur stabilité thermique. De cette manière, finis les problèmes d'odeur et de décoloration mentionnés plus haut. Les avantages des fibres finement séparées par rapport aux faisceaux de fibres ont ouvert aux fibres végétales un vaste champ d'applications nouvelles.

Séparation des fibres libériennes

Décortication

Pour obtenir des fibres élémentaires à partir de la tige de la plante, la première étape consiste à séparer les faisceaux de fibres

libériennes du cœur ligneux de la tige. Le cœur ligneux est fragile et casse lorsqu'on plie la tige, tandis que les faisceaux des fibres libériennes eux, sont très flexibles et ne se rompent pas. Les machines utilisées pour la décortication mécanique des fibres libériennes se basent soit sur le principe des moulins broyeurs, soit sur le principe des rouleaux concasseurs rotatifs, profilés. Les machines acceptent les tiges de plantes même emmêlées, ce qui simplifie la technique de récolte par rapport au procédé traditionnel de production des fibres [3].

Dégommage

Avec la décortication mécanique et le cardage successif, les faisceaux de fibres ne peuvent pas être séparés jusqu'aux cellules des fibres élémentaires. Pour parvenir à ce stade, il est indispensable d'éliminer les substances gommeuses qui entourent les fibres (dégommage). Différents procédés biologiques et chimico/physiques ont été étudiés pour obtenir un dégommage contrôlé [4]. Le procédé par explosion de vapeur et le procédé de séparation biologique sont les plus développés. En ce qui concerne le procédé par explosion de vapeur, le liber est placé dans un autoclave avec vapeur alcaline de 8–12 bar pendant un maximum de 30 min. Lorsque la pression est réduite, les fibres sont accélérées et séparées. Ce procédé permet d'affiner les fibres [4,5]. Il est suffisamment développé pour permettre une application industrielle. Dans le cadre de la séparation biologique, les microorganismes présents naturellement sur le liber sont placés dans un fermenteur dans des conditions précisément définies. Les substances gommeuses du liber se dissolvent sous l'action des enzymes libérés par ces microorganismes [6,7], ce qui permet la séparation ultérieure des fibres élémentaires. Pour l'heure, ce procédé est développé en laboratoire.

Tab. 1: Propriétés des fibres végétales les plus répandues dans le monde [28–35]

	Origine des fibres	Production mondiale [1000 t]	Longueur des fibres [mm]	Diamètre des fibres [µm]	Résistance [MPa]	Module d'élasticité [GPa]	Allongement à la rupture [%]
Bois	Tronc	1'750'000	1–4	12–37	280–1200	–	1,1–4,9
Coton	Poils de semences	18'450	30–40	20–60	220–830	4,5–11	6–10
Jute	Filasse	2'300	1–5	15–25	320	27	2,4
Kénaf	Filasse	970	2–6	14–33	–	–	–
Lin	Filasse	830	9–70	5–38	450–1500	40–93	1,5–3
Chanvre	Filasse	214	5–55	10–51	500–1000	30–90	1,6

Etude des procédés de fabrication d'un matériau de qualité à base de fibres végétales

Différentes fibres végétales comme le coton, mais aussi les fibres libériennes du chanvre et du lin sont utilisées depuis longtemps pour la fabrication de textiles. Parmi les matières de remplissage et les fibres de renforcement présentes dans les polymères, on trouve également des fibres de bois, de jute ou de kénaf [8–12]. Le tableau 1 donne une vue d'ensemble des fibres végétales qui dominent le marché industriel mondial.

Les fibres libériennes du chanvre et du lin se caractérisent par une résistance de plus de 1000 MPa et un module d'élasticité allant jusqu'à 90 GPa. Ces fibres présentent également un faible diamètre d'environ 20 µm en moyenne pour une longueur allant jusqu'à 70 mm. Parmi les fibres citées, ce sont donc celles qui affichent la plus grande longueur proportionnellement à leur diamètre. C'est pourquoi elles conviennent particulièrement bien pour la fabrication de matériaux composites. D'un point de vue technique, l'utilisation du lin et du chanvre a donc été favorisée pour le renforcement des polymères. La plante de chanvre est bien adaptée au climat européen. Au cours d'une période de culture de quatre mois,

Etapes du processus

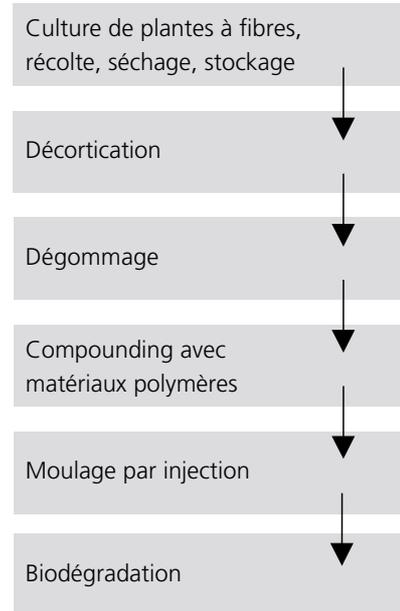


Fig. 4: Ligne de production d'un matériau à base de fibres végétales biodégradables.

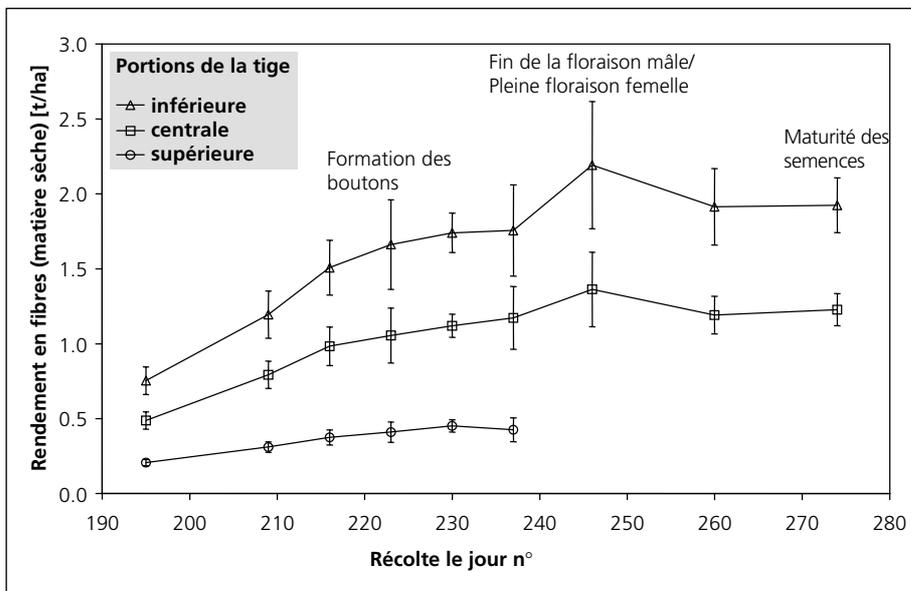


Fig. 5: Evolution du rendement en fibres et répartition sur le tiers supérieur, central et inférieur de la plante.

on obtient, à partir de différentes variétés, un rendement en fibres compris entre 2,9 et 4,1 t/ha [13,14]. Le chanvre est une culture très résistante qui peut être cultivée sans herbicide, ni fongicide [15]. Par contre, le lin – deuxième plante libérienne traditionnellement établie en Europe – n'obtient un rendement que de 1,1 à 2,6 t/ha malgré des soins intensifs avec des produits phytosanitaires [16]. Etant donné les avantages agronomiques manifestes du chanvre, c'est donc cette plante qui a été choisie pour les recherches effectuées sur toute la gamme de production d'un matériau à base de fibres végétales biodégradables (fig. 4).

Date de récolte du chanvre

Les propriétés chimiques et techniques des tiges de chanvre et du liber dépendent largement du stade de développement de la plante. Comme les procédés modernes de production des fibres sont liés à d'autres exigences en ce qui concerne la matière première végétale, les dates de récolte qui garantissaient des qualités de fibres idéales avec les procédés traditionnels risquent de ne plus être les mêmes. L'influence du stade de développement sur le rendement, la «décorticabilité», la résistance et la composition chimique du liber obtenu a été étudiée dans la suite du rapport à partir de l'exemple de la variété dioïque de chanvre textile Kompolti. Il s'agissait de définir une période de récolte optimale en fonction d'applications spécifiques.

Rendement

Il faut tout d'abord distinguer le rendement en tiges, en liber et en fibres. Pour la production de fibres élémentaires de qualité, seul le rendement en fibres est intéressant. Il s'agit du rendement en fibres élémentaires dégommees sans cœur ligneux et sans substances gommeuses. La teneur en fibres des tiges de chanvre étudiées s'élevait en moyenne à 27%. L'évolution du rendement en fibres est représentée à la figure 5.

Le tiers supérieur de la tige de la plante joue un rôle négligeable pour l'obtention d'un rendement élevé en fibres. En revanche, la partie inférieure de la tige est très riche en fibres et devrait donc être coupée le plus bas possible. En résumé, on peut dire que le rendement maximum (tiges, liber et fibres) est atteint au stade suivant «Fin de la floraison mâle/Pleine floraison femelle». Ce stade survient environ une semaine après la date de récolte usuelle (pleine floraison mâle) des fibres de chanvre produites de manière traditionnelle [15,17,18].

Décorticatation

Afin de déterminer leur «décorticabilité», des tiges de chanvre sèches ont été traitées dans une machine de décorticatation en laboratoire. Cette machine se compose de quatre paires de rouleaux rotatifs, à profil axial, placés les uns derrière les autres et entraînés par un moteur électrique. Cette machine permet de reproduire en laboratoire un processus de décorticatation industriel, correspondant au niveau actuel de la technique. Dans le cadre de la décor-

tication en laboratoire, les tiges ne sont pas complètement décortiquées après un seul passage. Le liber partiellement décortiqué a donc été reconduit plusieurs fois dans la machine jusqu'à ce qu'il soit absolument exempt de chènevottes, ce qui a requis cinq passages dans la machine. L'opération effectuée par étapes a permis d'interpréter de manière détaillée le processus de décortication des tiges de chanvre à différents stades de développement (fig. 6).

Les courbes de décortication peuvent être décrites à l'aide de l'équation exponentielle présentée dans la figure 6 [19]. p_{∞} représente le pourcentage de liber présent dans la tige. N_0 représente un indice de décortication. Un faible indice n_0 décrit un procédé avec lequel une grande partie des chènevottes a été éliminée durant les premières étapes de décortication, ce qui permet une décortication en douceur. La figure 7 présente l'indice de décortication n_0 , qui diminue plus le stade de développement des plantes est avancé. Cela signifie que les plantes plus anciennes sont plus faciles à décortiquer.

Si l'on se base sur la «décorticabilité», la date de récolte optimale se situe au début de la période de maturité des semences.

Composition chimique du liber

La composition chimique du liber n'influence pas uniquement sa «décorticabilité», mais aussi l'aptitude des fibres au dégommeage. Pour que les fibres soient faciles à décortiquer, la teneur en cellulose doit être élevée, ce qui veut dire que la plante doit présenter beaucoup de fibres susceptibles de résister aux sollicitations techniques. Cette propriété peut être atteinte en fixant la date de récolte le plus tard possible (fig. 8).

Fig. 6: Procédés de décortication des tiges de chanvre à des stades de développement différents: masse du matériel décortiqué par rapport à la masse initiale des tiges après un nombre variable d'étapes de décortication (n).

Fig. 7: L'indice de décortication de la tige de chanvre baisse plus le stade de développement végétal avance, ce qui signifie que les tiges récoltées plus tard sont plus faciles à décortiquer.

Fig. 8: La teneur en cellulose du liber du chanvre augmente continuellement avec l'âge de la plante, indépendamment de son stade de croissance.

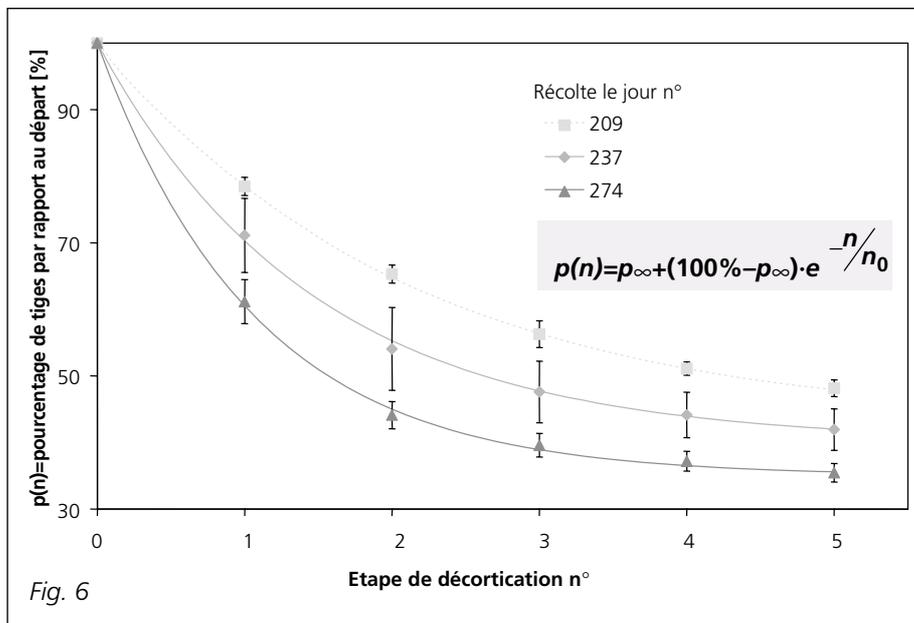


Fig. 6

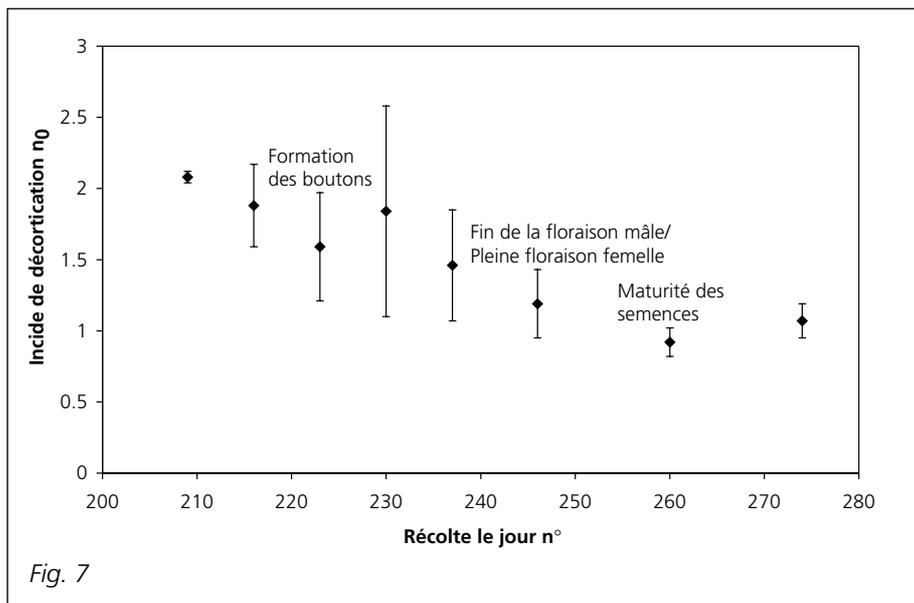


Fig. 7

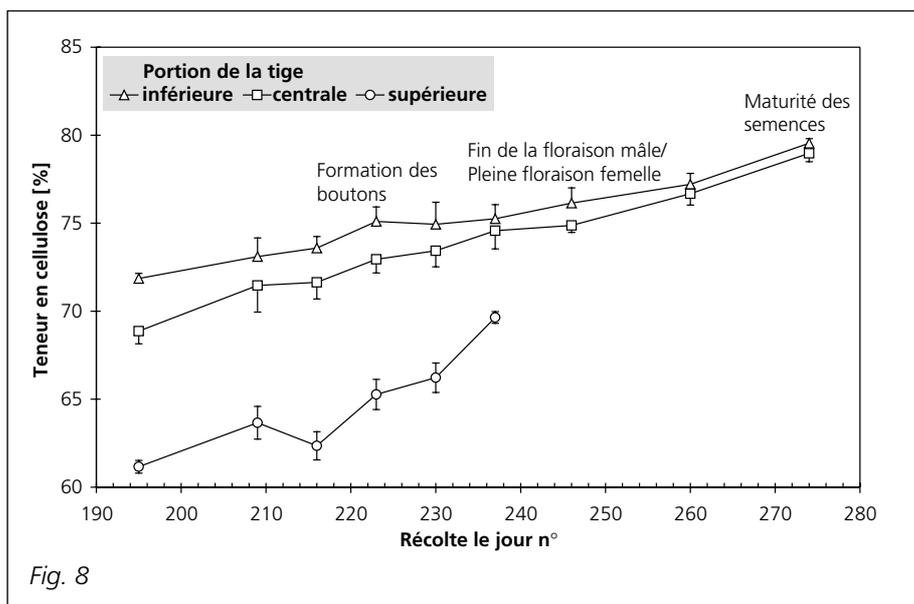


Fig. 8

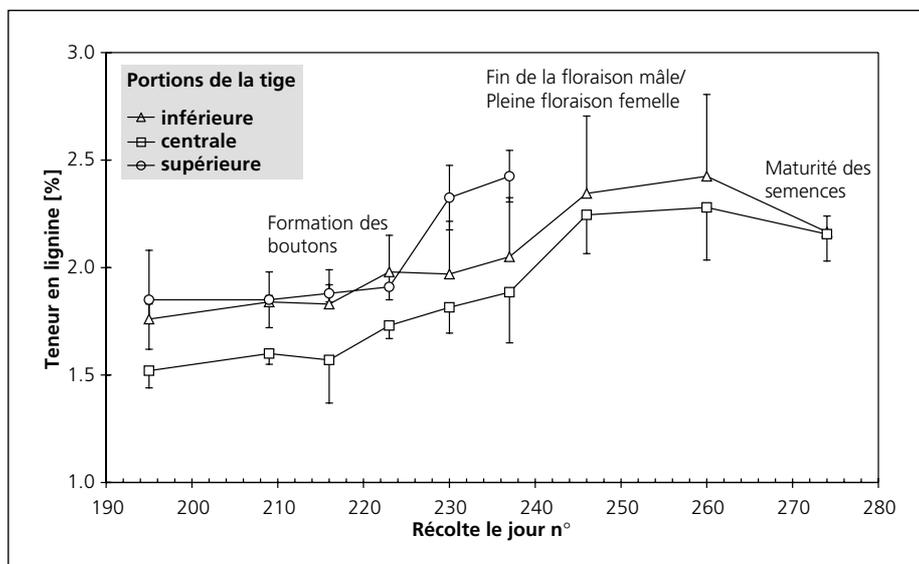


Fig. 9: Quelle que soit la portion de tige considérée, la teneur en lignine augmente entre le 195ème et le 260ème jour de l'année. La partie centrale de la plante présente la teneur la plus faible en lignine suivie par le tiers supérieur et le tiers inférieur.

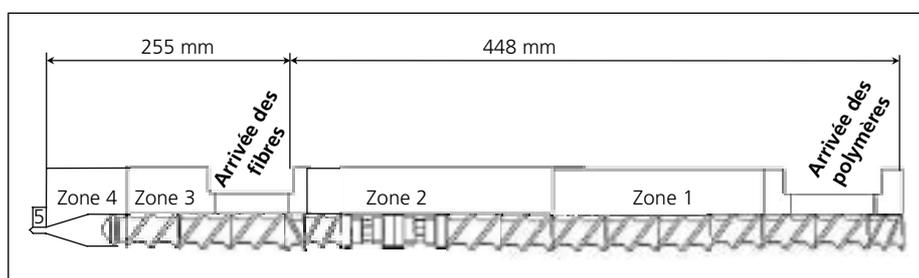


Fig. 10: Configuration des vis optimisée pour le coumpounding des fibres de chanvre dégommees.

Pour la production de fibres décortiquées mécaniquement sans dégommeage ultérieur, comme c'est le cas pour les isolants ou les pièces moulées utilisées dans l'industrie automobile, il est recommandé de fixer la récolte au stade de pleine florai-

son femelle. Les plantes présentent alors un taux de «décorticabilité» élevé grâce à la forte teneur du liber en cellulose. De plus, c'est à ce stade de développement également qu'a été obtenu le rendement maximum (cf. fig. 5).

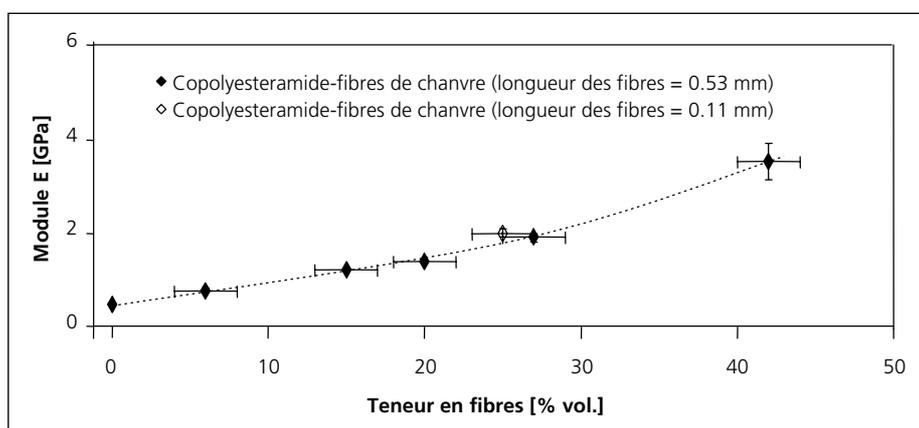


Fig. 11: Les modules E des matériaux composites à base de fibres de chanvre et de polyesteramide augmentent avec la teneur en fibres. Avec un pourcentage de fibres de 42 %, le module E est huit fois plus élevé par rapport au copolyesteramide non renforcé. A ce niveau, la longueur des fibres dans le matériau ne joue aucun rôle.

Pour isoler les cellules des fibres en dégommeant la filasse, il est nécessaire que la teneur en lignine soit la plus réduite possible, car d'une part, la lignine se décompose difficilement sous l'effet des enzymes et d'autre part, elle est également difficile à dissoudre chimiquement. On pourrait donc en conclure qu'il est préférable de récolter les plantes de chanvre au plus tard au stade de la formation des fleurs, car ce n'est qu'après que la teneur en lignine augmente plus rapidement (fig. 9). Toutefois, si les plantes sont plus aptes au dégommeage, les pertes de rendement en fibres sont de l'ordre de 12 % (fig. 5) et leur aptitude au décortiquage est inférieure de 25 % (fig. 7).

Compounding

Lors de la production des granulés renforcés à base de fibres pour les moulages par injection, les fibres végétales se comportent de manière complètement différente par rapport aux fibres de verre traditionnelles. Cela exige des processus de production adaptés, étudiés sur la base d'un matériau synthétique biodégradable (copolyesteramide), renforcé à base des fibres de chanvre. Les fibres de chanvre dégommees ont été introduites (compoundées) dans le copolyesteramide biodégradable à l'aide d'une extrudeuse à deux vis. La configuration des vis et le point d'amenée des fibres ont été optimisés dans le processus de compounding pour éviter le plus possible d'endommager les fibres (fig. 10). Juste avant l'entraînement des fibres, la machine est équipée d'un malaxeur qui veille à ce que la masse fondue soit homogène lorsque les fibres entrent dans la machine. La pente plus faible de l'élément suivant et la pente négative de l'élément ultérieur permettent à la pression d'augmenter dans le mélange, ce qui en améliore l'homogénéité et permet parallèlement d'obtenir une pression réduite à l'arrivée des fibres, ce qui empêche que la masse fondue ne s'échappe par l'ouverture utilisée pour l'introduction des fibres. Le parcours suivi ensuite par les fibres se compose seulement d'un convoyeur à vis de 112,5 mm de long sans malaxeur. Les fibres d'une longueur moyenne de 8 mm, ont ainsi pu être mélangées de manière homogène à la masse fondue synthétique. L'analyse de la longueur des fibres dans les granulés montre qu'il est préférable d'alimenter l'extrudeuse avec des fibres de moins de 10 mm de long. En effet, les fibres plus longues impliquent des conditions de compounding plus rigoureuses pour

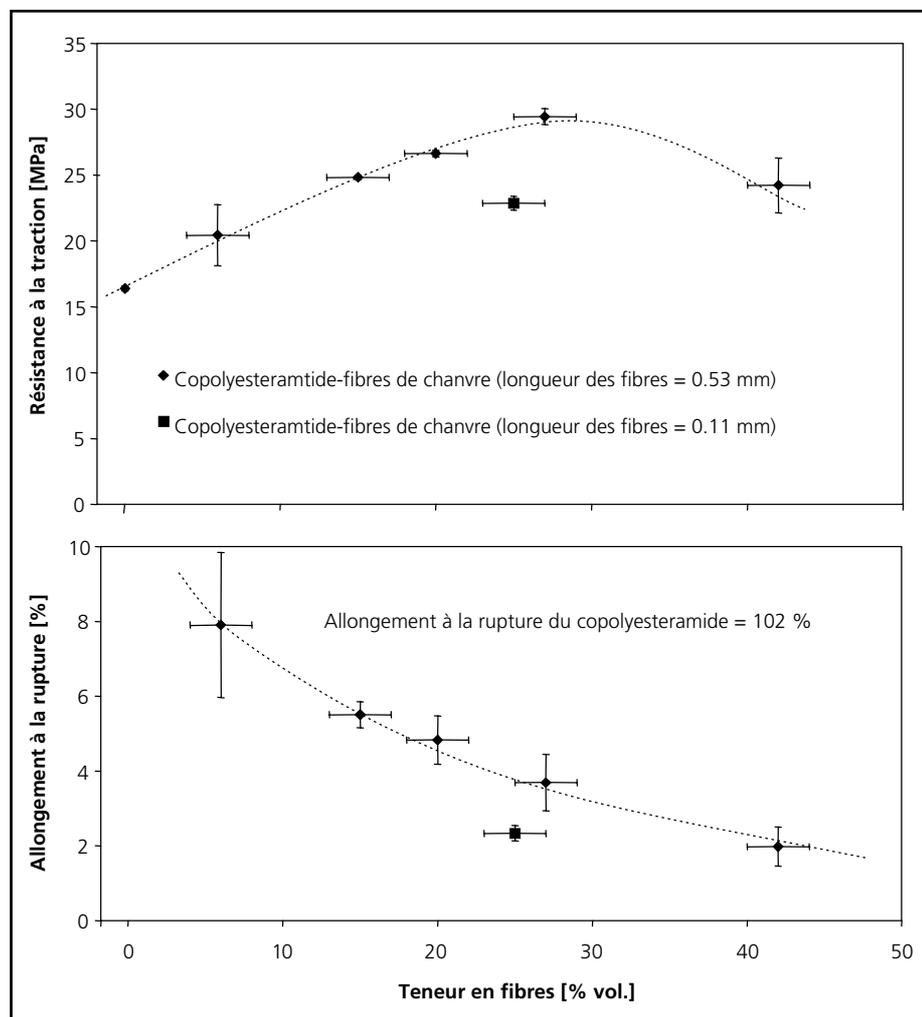


Fig. 12: La résistance des matériaux à base de copolyesteramide peut être pratiquement doublée par le compounding avec des fibres de chanvre, ce qui va néanmoins de pair avec une baisse très nette de l'allongement à la rupture. Le matériau contenant des fibres longues compoundées en douceur affiche une résistance supérieure avec une baisse moins importante de l'allongement à la rupture que le matériau contenant des fibres plus courtes.

pouvoir être réparties de manière satisfaisante dans la matière synthétique. Or, du fait des charges de cisaillement supplémentaires qui en découlent, à la sortie, les fibres sont moins longues que celles qui sont présentées plus courtes au départ à la machine, mais compoundées avec plus de ménagement.

Propriétés mécaniques

A partir des granulés à base de fibres de chanvre et de copolyesteramide, des barreaux de traction ont été fabriqués selon le procédé traditionnel de moulage par injection et ont servi à définir les propriétés mécaniques des matériaux composites. Les figures 11 et 12 présentent les résultats des essais de traction.

Le module E permet de mesurer la rigidité d'un matériau. Grâce au renforcement

avec plus de 30 % de fibres de chanvre, le module E du polyesteramide, peu rigide, étudié ici peut approcher des modules des propylènes renforcés par fibres de verre. L'extrémité des fibres dans les matériaux composites entraîne la concentration de tensions, qui peuvent se traduire par des défauts à la surface limitrophe entre les fibres et la matrice [20]. Plus la teneur en fibres est élevée, plus les fibres sont courtes, et plus le nombre d'extrémités des fibres susceptibles de causer des défauts se multiplie. Les fibres permettent d'une part de renforcer les matériaux, mais peuvent d'autre part causer leur rupture. Dans les matériaux composites étudiés, c'est l'effet de renforcement qui domine, jusqu'à une teneur en fibres de 30 %. Mais, lorsque la teneur en fibres est plus élevée, l'effet de renforcement s'amointrit et c'est la tendance à la rupture due aux fibres qui prend le dessus (fig. 12).

La résistance à la traction des matériaux à base de copolyesteramide a pu être augmentée de 16,4 à 29,4 MPa par un renforcement avec 27 % de fibres.

L'influence précédemment décrite de la longueur des fibres sur les propriétés mécaniques a également pu être mesurée. Les matériaux contenant des fibres de 0,11 mm de long, avec une teneur en fibres de 25 % affichent une résistance similaire à ceux contenant des fibres de 0,53 mm de long avec une teneur en fibres de 15 %. L'allongement à la rupture des matériaux à base de fibres courtes est de 2,3 %, soit plus de deux fois inférieur à celui des matériaux à base de fibres longues, d'une résistance analogue. Les matériaux à base de fibres courtes sont donc considérés comme cassants.

Matériaux composites biodégradables

Le compostage des matériaux composites biodégradables offre une alternative aux problèmes d'élimination des déchets. C'est pourquoi au cours des dernières années, de nombreux polymères biodégradables ont été suffisamment développés pour être commercialisés. Ils sont conçus de manière à pouvoir être compostés en tant que films selon la norme DIN V 54900. Bien qu'ils puissent être travaillés avec les méthodes traditionnelles de thermoplastie, comme l'extrudage, le moulage par injection, le soufflage des films, etc. et que leur introduction n'exige de ce fait que de faibles investissements, leur emploi se limite encore à de petites quantités [21,22]. Cette situation est due au prix des polymères biodégradables sur le marché, qui est largement deux fois plus élevé que celui des matières thermoplastiques standard présentant des propriétés mécaniques analogues. [23-25]. Leur utilisation ne se justifie donc que lorsque la biodégradabilité représente une partie de leur fonction, comme c'est par exemple le cas pour les pots germinatifs dans les établissements horticoles ou pour les articles de deuil dans les cimetières. Compte tenu du développement technique et de l'évolution des prix, on estime à 1,2 millions t/an les débouchés potentiels à moyen terme des polymères biodégradables en Europe [23,26]. Le renforcement avec des fibres végétales dégommees ouvre en outre le marché des matériaux de construction aux polymères biodégradables. Pour les applications dans

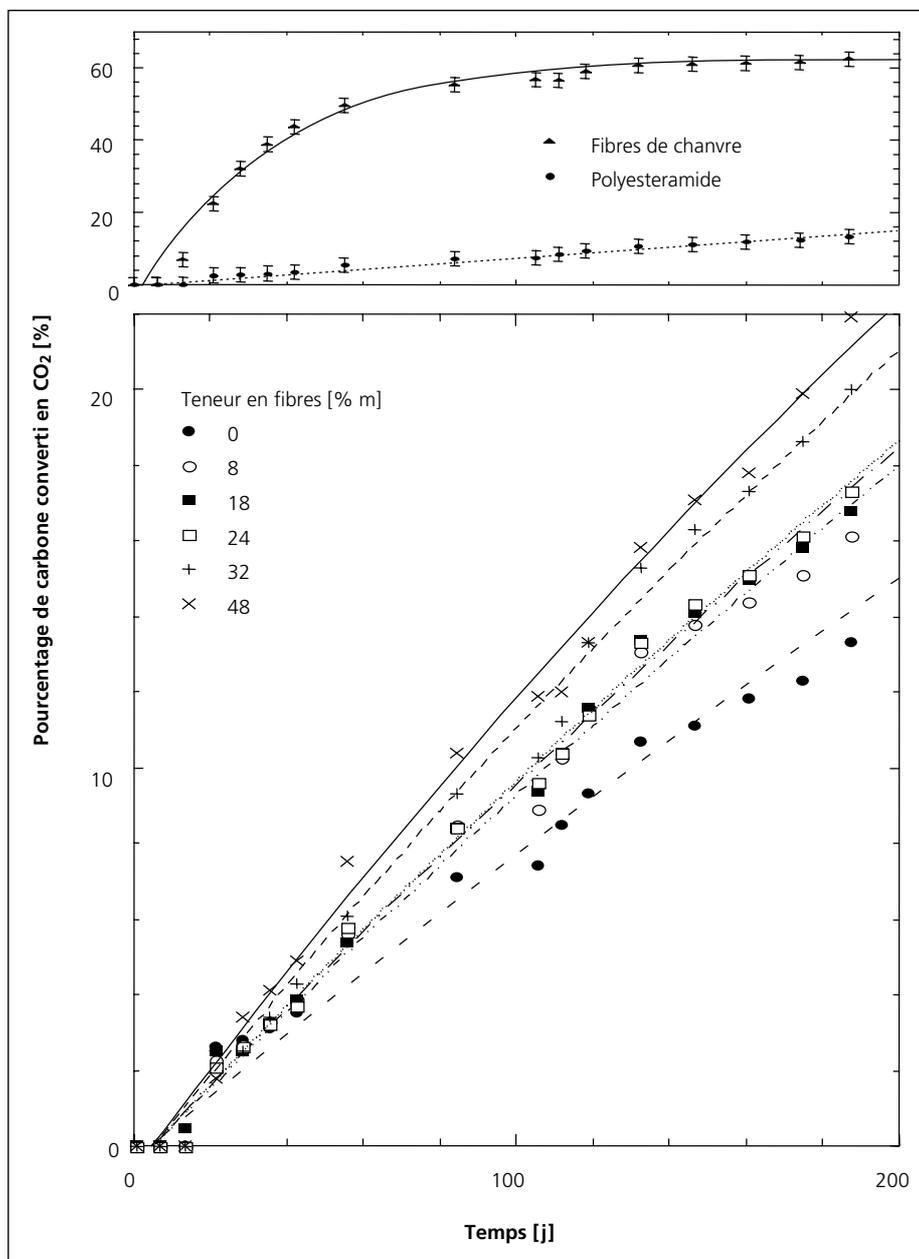


Fig. 13: Biodégradation de matériaux composites à base de copolyesteramide et de fibres de chanvre pour différentes teneurs en fibres. Sur l'échantillon de fibres pures, le pourcentage de carbone converti en CO₂ augmente beaucoup plus rapidement que sur la matrice de copolyesteramide et sur les matériaux composites.

lesquelles ces polymères doivent se dégrader dans la terre, il est indispensable que le processus de décomposition soit bien défini. Les pots germinatifs et les pots de culture biodégradables utilisés dans les établissements horticoles par exemple doivent répondre à d'autres exigences sur le plan des propriétés mécaniques, de la qualité superficielle, de la perméabilité à l'eau et du processus de décomposition. Les résultats des essais de décomposition présentés ci-dessous montrent que le renforcement à base de fibres permet également d'adapter la vitesse de décomposition de manière ciblée.

Vitesse de décomposition

Dans la nature, les résidus végétaux et animaux se décomposent dans le sol. Les microorganismes qui y vivent (bactéries, champignons, actinomycètes, algues) détruisent les substances organiques via des enzymes extracellulaires. Ils absorbent les molécules ainsi raccourcies dans les cellules et les décomposent par aspiration cellulaire. La partie organique de l'échantillon produit du dioxyde de carbone, de l'eau et de la biomasse, lorsque la minéralisation est complète. La production de dioxyde de carbone pendant

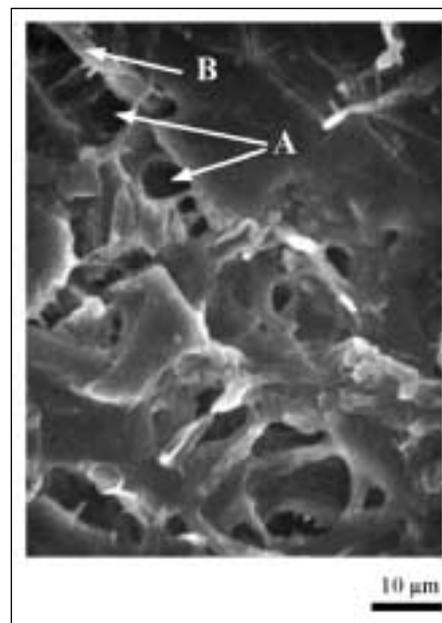


Fig. 14: Surface d'un matériau composite à base de copolyesteramide et de fibres de chanvre avec une teneur en fibres de 24% après 187 jours d'incubation dans la terre. Les fibres proches de la surface se décomposent plus rapidement que la matrice ce qui entraîne la formation de pores dans le matériau (A). On distingue un fragment de fibre qui n'est pas encore entièrement décomposé (B).

la décomposition du matériau à base de polyesteramide et de fibres de chanvre, décrite plus haut a été observée pendant 200 jours [27]. Elle sert en effet à mesurer la vitesse de décomposition (fig. 13). Plus la teneur en fibres est élevée, plus la décomposition du matériau composite a lieu rapidement. Ce phénomène s'explique comme suit: Les fibres de chanvre se décomposent beaucoup plus rapidement que le copolyesteramide ce qui entraîne la formation de pores à la surface du matériel (fig. 14). Ces pores créent une surface plus large, plus facilement accessible aux microorganismes. Les matériaux composites se décomposent donc plus rapidement que la matrice pure, non seulement à cause de leur pourcentage en fibres rapidement dégradables, mais également à cause de la surface supplémentaire ainsi créée. Ces recherches montrent que le renforcement des matières synthétiques biodégradables par des fibres végétales n'améliore pas uniquement les propriétés mécaniques des matériaux, mais que le procédé de décomposition peut lui aussi être influencé de manière ciblée.

Conclusions

Production de fibres

Pour la production de fibres libériennes, la date de la récolte influence considérablement la composition chimique de la filasse. Cette dernière influence de son côté l'aptitude de la filasse au décortiquage et au dégommeage. La date de récolte pour la fabrication de fibres de chanvre séparées mécaniquement est habituellement fixée à la maturité technique (lors de la floraison mâle) en raison du rendement élevé et des bonnes conditions de décortiquage. Les fibres séparées mécaniquement sont utilisées pour la fabrication de matériaux isolants, de textiles grossiers et de matériaux de remplissage.

La teneur élevée en lignine lorsque la récolte est effectuée à maturité technique rend le dégommeage de la filasse plus difficile pour la production de fibres élémentaires, utilisées de préférence pour le renforcement des polymères biodégradables ou pour la production des textiles fins. Le taux de lignine inférieur de 5,4 % lorsque la récolte est effectuée plus tôt, lors de la formation des boutons, se traduit néanmoins par un rendement en fibres inférieur de 12 % et par une aptitude au décortiquage, elle aussi inférieure de 25 %. La plus faible teneur en lignine justifie-t-elle les inconvénients de la récolte précoce? C'est ce que doivent démontrer des essais de dégommeage effectués sur de la filasse présentant différentes teneurs en lignine.

Compounding

Avec des extrudeuses traditionnelles à deux vis, il est possible de compoander des fibres de chanvre dégommées avec des polymères thermoplastiques, biodégradables jusqu'à ce que les fibres représentent 50 % du volume total. Les fibres de chanvre dégommées ne peuvent pas être déversées, c'est pourquoi il n'est pas possible de les doser avec les dispositifs habituels. Lorsqu'elles se présentent sous la forme de non-tissés ou de fils tissés, elles peuvent être entraînées automatiquement par la rotation des vis via l'ouverture de dosage des fibres. Pour l'application industrielle du procédé, il serait intéressant de développer une unité de dosage pour les fibres qui ne peuvent pas être déversées, car cela éviterait la production onéreuse de non-tissés ou de fils.

Pour ménager les fibres lors du compounding, la vis doit être la plus courte possible et le système doit pouvoir se passer de malaxeur.

Propriétés mécaniques

Les matériaux composites à base de copolyesteramide et de fibres de chanvre atteignent un module E qui permet l'utilisation des matériaux biodégradables pour la fabrication d'éléments rigides de grandes superficies. La résistance à la traction et aux chocs permet des applications constructives. Pour les éléments structuraux à parois fines, il est toutefois recommander de se montrer prudent. Il serait possible d'augmenter la résistance des matériaux si les fibres présentes dans la pièce étaient plus longues que les 0,53 mm actuellement mesurés. Pour arriver à un tel résultat, il faudrait modifier complètement le processus de compounding. On peut envisager la pultrusion des fils de liber faiblement torsadés ou le compounding direct dans une machine de moulage par injection.

Biodégradabilité

Le compounding avec des fibres libériennes influence non seulement les propriétés mécaniques des matériaux, mais également le procédé de décomposition des polymères biodégradables. C'est une caractéristique très importante pour le développement de produits comme les pots germinatifs et les pots de culture dans le domaine de l'horticulture, qui requièrent un processus de décomposition bien défini.

Bibliographie

- [1] Plage K. 1999. Verbundwerkstoffe im Automobilbau – Neue Märkte nicht nur für die Landwirte. *Energie & Pflanzen* 3. 20–24.
- [2] Keller A., Zerlik H. und Wintermantel E., 1999. Biodegradable polyester matrix reinforced with hemp fibres – effect of fibre refinement by steam explosion. *International Conference on Composites Materials – 12, Paris. Paper Nr. 497.*
- [3] Bassetti P., Mediavilla V., Spiess E., Ammann H., Strasser H. und Mosimann E., 1998. Culture du chanvre en Suisse – Histoire, situation actuelle, variétés, techniques culturales et techniques de récolte, aspects économiques et perspectives. *Rapport FAT n° 516, FAT Tänikon.*
- [4] Karus M. und Leson G., 1995. Textiles from hemp fibers – New ways for German hemp.
- [5] Tubach M. und Kessler R.W., 1995. Neue Aufschlussverfahren – Ein Schlüssel für innovative Anwendungen für Flachs. 1. Hunsrücker Leintage. 12 S.
- [6] Leupin M., 1998. Enzymatic degumming through alkalophilic microorganisms – a new approach for bast fibre processing. *Natural fibres, hemp, flax and other bast fibrous plant – production, technology and ecology; Symposium, Poznan.*
- [7] Leupin M., 1996. Bakterielle Degummierung von Ramie (*Boehmeria nivea*). *Dissertation ETH Nr. 11 893, Zürich.*
- [8] Belgacem M.N., Bataille P. und Sapieha, S., 1994. Effect of corona modification on the mechanical properties of polypropylene/cellulose composites. *Journal of Applied Polymer Science* 53. 379–385.
- [9] Lee S.M., 1991. *International Encyclopedia of Composites, Vol. 4, Chapter: Natural Composites.* VCH, New York.
- [10] Mitra B.C., Basak R.K. und Sarkar M., 1998. Studies on jute-reinforced composites, its limitations, and some solutions through chemical modifications of fibers. *Journal of Applied Polymer Science* 67 6. 1093–1100.
- [11] Bledzki A.K. und Gassan J., 1997. The influence of fiber-surface treatment on the mechanical properties of jute-polypropylene composites. *Composites Part A* 28A. 1001–1005.
- [12] Sanadi A.R., Caulfield D.F., Jacobson R.E. und Rowll R.M., 1995. Renewable agricultural fibers as reinforcing fillers in plastics: Mechanical properties of kenaf fiber-PP composites. *Industrial and Engineering Chemical Res.* 34. 1889–1896.
- [13] Meijer W.J.M., van der Werf H.M.G., van Roekel G.J., de Meyer E.P.M. und Huisman W., 1995. Fibre hemp: potential and constraints. *Canada Agriculture* 8.
- [14] Mediavilla V., Leupin M. und Keller A., 2001. Influence of the growth stage of industrial hemp on the yield formation in relation to certain fibre quality. *Industrial Crops and Products* 13 1. 49–56.
- [15] Bassetti P., Mediavilla V., Spiess E., Ammann H, Strasser H und Mosimann E., 1998. Culture du chanvre en Suisse – Histoire, situation actuelle, variétés, techniques culturales et techniques de récolte, aspects économiques et perspectives. *Rapport FAT n° 516, FAT Tänikon.*
- [16] Krüger K., 1998. Ertrag und Qualität von Flachs und Faserhanf. *Bornimer Agrartechnische Berichte* 17. 154–160.
- [17] Lohmeyer D., 1997. *Die Hanfernte. Statusbericht und Ausblick.* 2. Auflage. nova-Institut, Hürth.
- [18] Bócsa I. und Karus M., 1997. *Der Hanfanbau – Botanik, Sorten, Anbau und Ernte.* 1. Auflage. C.F. Müller Verlag, Hüthig GmbH, Heidelberg. 173 S.
- [19] Keller A., 2001. Biodegradable Hanffaser-Verbundwerkstoffe, Einflüsse der Faserzelle auf strukturelle, mechanische und degradationskinetische Verbundeigenschaften. *Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 5, Nr. 628.* VDI-Verlag, Düsseldorf. 160 S.
- [20] Mehan M.L. und Schadler L.S., 2000. Micromechanical behaviour of short-fiber polymer composites. *Composites Science and Technology* 60 7. 1013–1026.
- [21] Swift G., 1997. Non-medical biodegradable polymers. *Handbook of biodegradable polymers.* Domb, A.J., Kost, J. und Wiseman, D.M., Harwood Academic Publ. cop., Amsterdam. 473–511.
- [22] Chandra R. und Rustgi R, 1998. Biodegradable Polymers. *Progress in Polymer Science* 23. 1273–1335.
- [23] Fritz H.G., Seidenstücker T., Bölz U., Juza M., Schroeter J. und Endres H.-J., 1994. Production of thermo-bioplastics and fibres based mainly on biological materials, EUR 16102 EN, European Commission.
- [24] Page W.J., 1996. Waste sources for polyhydroxyalkanoate production. *International Symposium on Bacterial Polyhydroxyalkanoates, Davos.* 18–23.
- [25] USDA, 1995. Industrial uses of agricultural materials. Situation and outlook. *Economic Research Service; Us Department of Agriculture, Washington DC.*
- [26] Stöckli B., 1998. Bioplastik aus transgenen Pflanzen – Utopie oder neue Einkommensquelle für die Landwirtschaft? *Berichte über Landwirtschaft* 76 2. 223–236.
- [27] Keller A., Bruggmann D., Neff A., Müller B., Wintermantel E., 2001. Degradation kinetics of biodegradable fiber composites. *Journal of Environmental Polymer Degradation* 8 2. 91–96.
- [28] Bolton A. J., 1995. The Potential of Plant Fibres as Crops for Industrial Use. *Outlook on Agriculture* 24 2. 85–89.

- [29] Ilvessalo-Pfäffli M-S., 1995. Fiber Atlas, Identification of papermaking fibers. Springer Series in Wood Science.
- [30] Satlow G., Zaremba S. und Wulforth B. 1994. Flachs sowie andere Bast- und Hartfasern. Chemiefasern/Textilindustrie 96 44. 765–785.
- [31] Haudek H.W. und Viti E., 1980. Textilfasern – Herkunft, Herstellung, Aufbau, Eigenschaften, Verwendung. Verlag Johann L. Bondi & Sohn, Wien.
- [32] Kohler R. und Wedler M., 1994. Nichttextile Anwendungen von Flachs. Tectextil-Symposium. Vortragsnr. 331 S.
- [33] Kohler R., 1998. Bastfasern für technische Zwecke. Praxis der Naturwissenschaften Biologie 47 2. 22–26.
- [34] Haudek H.W. und Viti E., 1981. Textile Fasern und Flächen. Band 1. Verlag Johann L. Bondi & Sohn, Wien Perchtoldsdorf.
- [35] Bobeth W. , Faulstich H. und Fischer P., 1993. Textile Faserstoffe – Beschaffenheit und Eigenschaften. Springer Verlag, Berlin. 431 S.

Des demandes concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique et de prévention agricoles doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications peuvent être obtenues directement à la FAT (Tänikon, CH-8356 Ettenhausen). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@fat.admin.ch, Internet: <http://www.fat.ch>

BE	Furer Willy, Ecole d'Agriculture, 2732 Loveresse	Tél. 032 481 42 71
FR	Berset Roger, Institut agricole, 1725 Grangeneuve	Tél. 026 305 58 49
GE	AGCETA, 15, rue des Sablières, 1217 Meyrin	Tél. 022 341 35 40
JU	Knobel Beat, Institut agricole, 2852 Courtemelon	Tél. 032 420 74 39
NE	Bendel Etienne, SNVA, 2053 Cernier	Tél. 032 854 05 30
TI	Müller Antonio, Office de l'Agriculture, 6501 Bellinzona	Tél. 091 814 35 53
VD	Patrick Munier, Ecole d'Agriculture, Marcellin, 1110 Morges	Tél. 021 801 14 51
	Hofer Walter, Ecole d'Agriculture, Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 57
VS	Roduit Raymond, Ecole d'Agriculture, Châteauneuf, 1950 Sion	Tél. 027 606 77 70
SRVA	Mouchet Pierre-Alain, CP 128, 1000 Lausanne 6	Tél. 021 619 44 61
SPAA	Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 28

Les «Rapports FAT» paraissent environ 20 fois par an. Abonnement annuel: Fr. 50.–. Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: FAT, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen. Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.

E-Mail: doku@fat.admin.ch – Internet: <http://www.fat.ch>

Les Rapports FAT sont également disponibles en allemand (FAT-Berichte).– ISSN 1018-502X.