

Le Monde

Le lin, une fleur bleue à la fibre écolo qui séduit les industriels

La science en dissèque les fibres pour comprendre comment leur structure et leur composition déterminent leurs performances techniques. Les matériaux composites incorporant du lin intéressent les secteurs de l'automobile, du nautisme, des sports et loisirs, qui jouent la carte écologique.

Par [Florence Rosier](#) (Killem (Nord), Lorient (Morbihan), Nantes, envoyée spéciale)

Publié le 03 avril 2023, modifié hier à 16h20



Un champ de lin en fleur dans une ferme du Warwickshire (Royaume-Uni), en juin 2013.
JOHN HARRIS/REPORT DIGITAL/REA

Chaque année vers la mi-juin, une féerie bleutée nimbe les champs du littoral de la Normandie aux Pays-Bas. Un délicat semis de corolles qui frémit au vent. Cette houle impressionniste, saupoudrant des tiges d'un vert encore tendre, ravit les promeneurs. Ils sont, en réalité, face à « *un grand champ de lin bleu qui fait au ciel miroir* » (Aragon).

Cette flambée bleu-mauve est éphémère. Chaque fleur de lin, en effet, ne vit que quelques heures. Elle déploie ses cinq pétales graciles à l'aube, s'épanouit durant la matinée et se fane vers midi, sauf en cas de temps couvert. Mais comme de nouvelles fleurs apparaissent chaque matin, ce tapis d'azur resplendit une dizaine de jours.

« Cette année, la "route du lin" aura lieu dimanche 11 juin, dans les Hauts-de-France et en Normandie. Randonnées pédestres, circuits de cyclotourisme, visites de champs, films et expositions marqueront cette journée », annonce Pierre D'Arras, PDG d'une entreprise de teillage du lin, Van Robaey Frères. Nous sommes à 25 kilomètres de Dunkerque, à Killem, dans le département du Nord. Le teillage ? Ce mot méconnu désigne la suite d'opérations mécaniques permettant de séparer les parties ligneuses du lin-textile (le « bois », au centre de la tige) de la partie noble de la plante, ses faisceaux de fibres (contenues dans l'enveloppe externe de la tige). Nous y reviendrons.

Une plante zéro déchet

« Le lin, je me dis que c'est l'avenir, confie Pierre D'Arras. C'est une plante qui respecte l'environnement. » Ce qui séduit aussi ce teilleur, ce sont « les multiples usages » de la plante. Avec 5,8 % de croissance annuelle entre 2008 et 2017, le commerce de ses fibres, « essentiellement porté par le textile », se porte bien. Dire que cette culture a failli disparaître après la seconde guerre mondiale ! « L'arrivée des fibres artificielles, plus faciles à filer que le lin, l'a mis en péril », explique Pierre D'Arras. Mais depuis plusieurs décennies, la fibre de lin jouit d'une bonne image, portée par ses performances écologiques et techniques. C'est également une plante zéro déchet. « Tous ses composants sont exploités ! », se réjouit-il, que ce soient ses graines (pour l'huile, la peinture, l'alimentation animale), ses fibres longues (pour le textile, les vêtements et l'ameublement) et ses fibres courtes (pour les matériaux composites et non tissés, le papier...), ses résidus ligneux du centre de la tige (pour les paillages, litières, panneaux d'aggloméré, combustibles).

Car sous sa fleur bleue, la plante recèle bien des trésors. La filière, en effet, peut miser sur de nouveaux débouchés techniques. Si 90 % du lin européen reste destiné au marché textile, 10 % sont désormais affectés à l'écoconstruction, l'isolation, l'industrie automobile, les équipements de sport et le nautisme, la papeterie... Des marchés de niche, pour l'heure, mais qui se développent en s'appuyant sur la recherche, notamment à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) de Nantes et à l'université de Lorient.

Encore faut-il que la plante ait été semée. « C'est une toute petite graine ; on en sème environ 2 000 par mètre carré, à deux centimètres de profondeur », indique Pierre D'Arras. Un semis de surface, pour que la frêle tige naissante n'ait pas trop de terre à fendre avant de percer. Avec ce risque : s'il pleut beaucoup après cette opération, une croûte de terre peut se former, bloquant la levée du lin. Et cette année, fin mars, le ciel n'était toujours pas favorable. « Les semis n'ont pas pu démarrer, sauf sur quelques dizaines d'hectares dans l'Oise », confie Pierre D'Arras.

Battages, broyages et frictions

« Le lin est une plante exigeante qui ne supporte pas les mauvaises pratiques culturales », relève l'industriel. Il affectionne les terres limoneuses et riches, où l'eau est plus accessible.

Sa période de croissance, courte, ne dure qu'une centaine de jours. Il lui faut, dans l'idéal, un climat doux et humide avec plus de 700 millimètres de précipitations par an, bien réparties. Ses besoins en azote, donc en fertilisants, sont modérés. Par ailleurs, « *le lin est une des cultures qui utilise le moins de produits phytosanitaires. En moyenne, il reçoit trois traitements, principalement des herbicides. Le coton en reçoit dix fois plus* », souligne l'Union syndicale des rouisseurs-teilleurs de lin de France.

Le lin arrive à maturité en juillet, cinq semaines après la floraison. Sa tige atteint alors 90 à 120 centimètres de hauteur. Devenu jaune, il est arraché. Vient alors une étape essentielle, propre au lin et au chanvre : le rouissage. Les tiges arrachées sont couchées en nappes (« andains ») sur le sol, où elles resteront de trois semaines à trois mois, selon la météo. Là, elles vont évoluer sous l'action de la pluie, du soleil et des micro-organismes du sol. La science a identifié 215 espèces de champignons et 95 espèces de bactéries qui rongent dans ces conditions la pectose, le ciment naturel qui soude les fibres de lin au reste de la tige. De quoi faciliter l'étape suivante : l'extraction des fibres lors du teillage.

Notons que, durant des siècles, le lin a été roui dans de l'eau vive ou stagnante. Mais les acides organiques et les produits de fermentation libérés, nauséabonds, étaient très toxiques pour l'environnement. En France, cette pratique a été interdite en 1896.

Après le rouissage, les « pailles » de lin sont enroulées en balles, puis stockées à l'abri de l'humidité avant d'être soumises au teillage. Le teillage ! Un saisissant paradoxe, pour une fibre délicate. Ce n'est, en effet, qu'une succession de battages, de broyages et de frictions, avec des machines lourdes et puissantes.



Déroutage des balles de paille de lin avant l'entrée dans la teilleuse, à l'usine Decock, à Hondschoote, dans le Nord, le 10 mai 2021. AIMÉE THIRION POUR « LE MONDE »

L'usine de Killem, fondée en 1928 par l'arrière-grand-père de Pierre D'Arras, emploie aujourd'hui plus de 120 salariés et travaille avec 610 exploitants agricoles. Sur ses deux sites, 200 tonnes de balles de lin brut arrivent chaque jour par camion. Le ballet des batteuses et des broyeuses peut alors commencer. Les balles sont déroulées puis étalées en nappes régulières ; l'œil et la main de l'homme sont ici cruciaux. Une égreneuse récupère les graines, puis les tiges, sur un tapis roulant, commencent leur long parcours. Dans un grondement sourd, elles passent dans un égaliseur pour être parallélisées, puis entre des disques dentés pour être étirées. Ensuite, les pailles sont broyées dans des cylindres cannelés aux dents de plus en plus fines. Les petits fragments ligneux (« anas ») qui en résultent sont récupérés par aspiration.

Les fibres sont alors nettoyées mécaniquement. Les fibres courtes (« étoupes »), en haut et en bas de la tige, sont récupérées sous la teilleuse. En bout de ligne, des enrouleuses mettent les fibres en balles. Au final, 40 tonnes de fibres longues – les plus précieuses – et 30 tonnes d'étoupes repartent ainsi chaque jour de l'usine. Même les poussières de lin, récupérées après nettoyage de l'air, trouvent ici preneur : elles font des terreaux pour l'horticulture...

Une curiosité de la nature

Moment essentiel, la notation de chaque lot de fibres, dont le parcours est suivi grâce à un système de traçabilité. Les longues chevelures de lin sont ici scrutées, palpées, humées. « *C'est une opération délicate, car le prix de vente dépendra de la note moyenne des lots de chaque cultivateur, explique Pierre D'Arras. La qualité finale dépend du terroir, de la variété de lin, de la météo, des pratiques de culture...* » Il saisit un lot piqué de taches brunâtres : une attaque par un champignon. « *Ce lot a été récolté en 2021, une année marquée par de fortes pluies à la mi-juin, au pire moment.* » Résultat, le lin a versé ; à terre, une partie a pourri. Le lot reçoit une note de 2 sur 10. « *Il partira en corderie* », lâche le natif du Nord. Un autre lot, d'une belle couleur gris argenté – la plus recherchée – et d'une longueur et d'une finesse appréciables, reçoit la note de 8.



Echantillon de fibres de lin pour les clients, à l'usine de teillage Decock, à Hondschoote, dans le Nord, le 10 mai 2021. AIMÉE THIRION POUR « LE MONDE »

D'où viennent donc les qualités techniques du lin ? Direction Nantes, dans le laboratoire Inrae de Johnny Beaugrand. Ici, quantité de fibres de lin sont passées au crible des analyses biochimiques et structurales. Le but ? Mieux comprendre l'impact de leur composition moléculaire sur leurs propriétés mécaniques, en lien avec leurs différents usages.

Un faisceau de fibres de lin est constitué à environ 80 % de molécules de cellulose. Il comporte quelques dizaines de fibres, liées entre elles par un ciment formé de pectines, pour l'essentiel (ce ciment est nommé « lamelle moyenne »). La cellulose : cette très longue molécule, une curiosité de la nature, est « *plus rigide et résistante que de nombreux métaux* », relève Johnny Beaugrand. Elle est formée d'un enchaînement de milliers de petites molécules de glucose – c'est un polymère de sucre. Le secret de sa résistance tient dans la capacité de chaque molécule de cellulose à s'emboîter dans ses semblables. Résultat, cet assemblage forme des structures très ordonnées en motifs cristallins, montre l'analyse par résonance magnétique nucléaire. « *Ces structures cristallines stabilisent l'édifice* », explique le chercheur. Mais les molécules de cellulose peuvent aussi être désorganisées : elles sont alors sous une forme « amorphe ».

« Si, avec le changement climatique, les fibres de lin sont de plus en plus exposées à des stress hydriques, certaines de leurs applications, notamment textiles, pourraient devenir impossibles. » Johnny Beaugrand (Inrae)

Voici maintenant le secret de la résistance des fibres de lin : « *80 % de la cellulose du lin est sous forme cristalline, contre 40 % à 50 % de la cellulose des arbres et 30 % à 40 % de la cellulose du blé*, indique le biochimiste. *C'est une des raisons pour laquelle on utilise les fibres de lin dans des matériaux composites* », où elles sont associées à des résines ou à des plastiques, eux-mêmes issus de végétaux ou d'hydrocarbures fossiles.

Zoomons maintenant sur une fibre élémentaire de lin. Avec un diamètre de 10 à 20 micromètres (millièmes de millimètre), pour quelques millimètres à un centimètre de long, elle est quatre à cinq fois plus fine qu'un cheveu moyen. « *Pour manipuler une telle fibre sous loupe binoculaire, il faut une personne calme et dotée de bons yeux !* », s'amuse Johnny Beaugrand. Zoomons encore. Chaque fibre, cette fois, apparaît formée de 100 à 1 000 microfibrilles – qui, dans la tige à maturité, s'entassent dans une seule et même paroi de cellule végétale devenue géante.

Des maillons faibles

Venons-en maintenant aux « lamelles moyennes », ces fines couches de quelques dizaines à centaines de nanomètres qui relient entre elles les fibres de lin. Si elles donnent une cohésion aux faisceaux de fibres de lin, ce sont aussi leurs maillons faibles. « *Quand on tire sur un faisceau, il casse au niveau de ces lamelles* », explique le chercheur de l'Inrae. Ces mêmes lamelles, par ailleurs, sont très affectées par un stress hydrique. En cas de manque d'eau prolongé, leur composition en pectine et en hémicellulose est très altérée. « *Si, avec le changement climatique, les fibres de lin sont de plus en plus exposées à des stress hydriques, certaines de leurs applications pourraient devenir impossibles*, redoute Johnny Beaugrand. *Je pense, par exemple, aux tissus textiles utilisés pour renforcer les carénages, coques de bateau, pièces de structures automobiles...* ».

Son équipe a aussi examiné l'impact du rouissage. Les deux premières semaines, il a peu d'effet sur la cellulose des fibres. Puis, entre la troisième et la sixième semaine, la part de la

cellulose cristalline augmente. C'est parce que la cellulose amorphe, moins résistante, est dégradée par les enzymes des microbes du sol.

Attention cependant à ne pas trop prolonger le rouissage. « *Après six semaines, les micro-organismes du sol produisent un arsenal d'enzymes capables de s'attaquer à la cellulose cristalline* », avertit Johnny Beaugrand. La découverte conforte une pratique empirique séculaire. « *Pour déterminer la durée optimale du rouissage, les cultivateurs de lin se fient à trois indices sur les fibres extraites des tiges : leur couleur, qui doit passer du vert au bleu-violet ; leur toucher, qui doit être souple et un peu gras ; et le bruit qu'elles font quand on tire dessus et qu'elles se rompent.* »



Un opérateur regarde, trie, et enlève les éventuelles irrégularités de la filasse (la fibre longue du lin) après rouissage de la plante, à l'usine de teillage Decock, à Hondschoote, dans le Nord, le 10 mai 2021. AIMÉE THIRION POUR « LE MONDE »

Direction Lorient, maintenant. A l'université Bretagne Sud, Alain Bourmaud a coordonné un vaste projet de recherche, nommé « Flower ». L'objectif est de créer des composites plus légers, durables, rentables et plus respectueux de l'environnement, grâce à l'utilisation de fibres de lin cultivées localement, en remplacement des fibres de verre, utilisées dans la plupart des composites actuels. Lancé en 2018 et financé à hauteur de 4,6 millions d'euros, dont 3,1 attribués par l'Europe, ce projet s'est terminé en mars 2023.

« *La rigidité du lin est une qualité recherchée dans les composites* », relève Alain Bourmaud. Son équipe s'attache à caractériser la structure des fibres de lin... mais aussi leurs défauts, visibles en microscopie électronique ou en microscopie à force atomique. « *En cas d'irrégularités géométriques, ou "genoux", le comportement des fibres en traction est*

altéré », explique le chercheur. Ces défauts augmentent aussi la porosité de la fibre. « *Ce sont autant de portes d'entrée pour l'eau ou pour les micro-organismes qui fragilisent les fibres durant leur usage.* »

Si un composite incorpore des fibres avec de tels défauts, il sera fragilisé. Son risque de rupture sera accru. Un composite performant, explique le spécialiste des matériaux, doit résister à la traction, à la flexion et aux chocs. « *Les meilleurs sont faits à partir des fibres végétales sans défauts et riches en cellulose. A cet égard, le lin est le meilleur, suivi par le chanvre, le jute et le sisal.* »

Panneau publicitaire et coque de voilier

Le projet Flower a regroupé quatre partenaires académiques : l'université Bretagne Sud, l'Inrae de Nantes et les universités de Cambridge et de Portsmouth, au Royaume-Uni. Il associait aussi quatre acteurs industriels : le bureau d'études Kairos, spécialisé dans le nautisme, le groupe Teillage Vandecandelaère, premier producteur privé de lin en Europe, Eco-Technilin, leader français de produits non tissés à base de fibres naturelles, et Howa-Tramico, fabricant de mousse technique et équipementier automobile.

Les résultats du projet ont été présentés le 14 mars à Lorient. Dans les secteurs de la publicité, du nautisme et de l'automobile, trois prototypes ont été réalisés. Le premier est un panneau de publicité sur lieu de vente, à base de biomatériau 100 % naturel, compostable et recyclable en conditions industrielles. Il a été fabriqué à partir d'un voile non tissé en fibres de lin, mélangées à du polyacide lactique (PLA) issu du maïs. Il se prête bien à l'usinage, au façonnage, à la sérigraphie et à l'impression. Et, par rapport aux présentoirs à base de ressources non renouvelables, son impact environnemental est réduit.

Deuxième prototype, un voilier à foil dont la coque et le pont sont entièrement renforcés par des fibres de lin. Depuis un an, un premier bateau volant de ce type est en service à l'École de voile des Glénans (Finistère). Le navigateur Roland Jourdain, de son côté, dispose déjà d'un catamaran de croisière dont le pont est en lin – il a accompli avec une traversée de l'Atlantique. « *Ce bateau pèse autant qu'un bateau comparable utilisant de la fibre de verre, mais son bilan environnemental est meilleur*, indique Alain Bourmaud. *Nous espérons qu'il aura une meilleure résistance aux vibrations.* »

Troisième prototype, la partie intérieure du toit d'une automobile, un « ciel de toit », fabriquée par thermocompression à partir d'un voile de lin non tissé. Sa résistance à la flexion, à la chaleur et à l'humidité s'est montrée appréciable, et son impact environnemental favorable.

Le lin se cache partout

Si la présence de cette fibre dans nos armoires n'est plus ce qu'elle était à son apogée, au XVII^e siècle, la place prise dans notre vocabulaire trahit ce riche passé. Bien sûr, la **crinoline**, cette étoffe à chaîne de lin et à trame de crin de cheval, maintenue sur des « paniers » pour donner une ampleur exagérée à la jupe n'a pas survécu. Mais la **lingerie et le linge** sont dans notre quotidien. Le lecteur de ces **lignes**, jadis des ficelles en fil de lin, sait que le **linoléum**, constitué de toile de jute imperméabilisée par application d'huile de lin et de poudre de bois ou de liège, couvre encore certains sols. A moins qu'il ne soit une tête de **linotte**, ce petit passereau friand de graines de lin.

Restent certaines limites environnementales. Dans la filière textile, le transport des fibres jusqu'en Chine ou en Inde – les deux pays qui concentrent 84 % des capacités de filature du lin – alourdit le bilan carbone. Dans l'industrie des composites, cependant, les renforts de lin utilisés sont tous fabriqués en France. Par ailleurs, le recyclage des matériaux biocomposites se heurte encore à plusieurs défis, comme la séparation des fibres végétales de certains plastiques ou résines – sans compter l'organisation et le coût de la filière de collecte, de tri et de traitement.

« Les industriels montrent un fort intérêt pour les fibres végétales intégrées aux matériaux composites, conclut Alain Bourmaud. Cela vient en partie de la hausse des prix des matériaux pétrosourcés, bien sûr. Mais cet intérêt se justifie aussi par les atouts techniques de ces fibres, comme l'a montré le projet Flower. » La petite fleur bleue, décidément, ne séduit pas que les poètes.

Le lin en chiffres

745 570 tonnes : production annuelle de fibres et d'étoupes de lin en France

76,4 % : part de la France dans la production mondiale de lin pour le textile, suivie de la Belgique (8,4 %) et de la Biélorussie (4,9 %)

0,4 % : part du lin dans la production mondiale de fibres textiles en 2021. 64 % étaient d'origine synthétique, 22 % étaient issues du coton.

30 % : part du lin dans la composition du billet de dollar américain

+ 5,8% : croissance annuelle (2008-2017) du commerce de la fibre de lin

Le lin oléagineux : Il correspond à d'autres variétés de lin que le lin textile. Le Kazakhstan concentre 26 % de la production mondiale d'huile de lin en 2018, suivi du Canada (19 %) et de la Russie (16 %) en 2018.

Sources : Atlasocio.com, Textile Exchange, FAO

Florence Rosier(Killem (Nord), Lorient (Morbihan), Nantes, envoyée spéciale)