



## MOOC AGRORESSOURCES ET AGRO-INDUSTRIES DURABLES

### SEMAINE 3 : Les méthodes de transformation physiques : l'injection moulage

**Auteur : Philippe EVON**

Bonjour. Je suis Philippe EVON, Ingénieur de Recherche au Laboratoire de Chimie Agro-industrielle. Dans le cadre de cette semaine 3, je vais vous présenter les méthodes de transformation physiques de la matière végétale.

Issues de la plasturgie, ces technologies de mise en forme vont permettre de transformer la matière végétale en des agromatériaux plastiques. Citons par exemple le cas de ce pot de repiquage pour plante, mais également celui de ce panneau de fibre qui pourra être utilisé dans le bâtiment ou l'ameublement.

L'intérêt de ces agromatériaux plastiques est double :

- D'une part, leur coût est moins élevé que celui de pièces issues de ressources fossiles puisqu'ils ne sont pas soumis ni à l'écotaxe ni à la taxe carbone,
- D'autre part, ces matériaux sont plus respectueux de l'environnement car puisque issus de ressources renouvelables, biodégradables mais également compostables.

Avant de décrire plus en détail les procédés permettant l'obtention de ces nouveaux matériaux, il convient ici de rappeler quelques principes de base concernant la structure de la matière première végétale.

Tout d'abord cette matière est constituée de polymères<sup>1</sup> qui sont des biopolymères c'est à dire des polymères d'origine naturelle. Ils peuvent être classés en deux familles distinctes : les polymères de réserve d'une part avec l'amidon pour le maïs et le blé, également les protéines pour le soja et le tournesol ; Ces polymères de réserve vont jouer un rôle de matrice continue c'est-à-dire de liant à l'intérieur de l'agromatériau plastique. La deuxième famille est celle des polymères de structure parmi lesquels on retrouve la **cellulose** des **hémicelluloses** et des **lignines** ; ces polymères de structure jouent un rôle de renfort mécanique à l'intérieur de l'agromatériau.

A ce titre, la matière végétale peut donc être considérée comme un matériau composite à part entière : à l'intérieur de la cellule des sources d'une **matrice continue thermoplastique**<sup>2</sup> qui assurera la cohésion du matériau, et au niveau des parois cellulaires des cellules une source de renfort fibreux qui garantira le **renfort mécanique** de la pièce.

---

<sup>1</sup> Voir Glossaire

<sup>2</sup> Voir Glossaire



## MOOC AGRORESSOURCES ET AGRO-INDUSTRIES DURABLES

Les biopolymères sont des macromolécules à la structure relativement complexe puisque vous avez à l'intérieur d'une même chaîne de biopolymères différents monomères<sup>3</sup> qui peuvent coexister. Et vous avez surtout beaucoup d'interactions entre ces chaînes polymères notamment par le biais de liaisons hydrogène, ce qui s'accompagne d'une organisation macromoléculaire de la matière végétale dans son état natif relativement complexe.

Il conviendra donc au moment de la mise en forme de faire disparaître cette organisation, et l'eau va notamment nous permettre de rendre plastique des polymères qui ne l'étaient pas au départ. Par ajout d'eau, on réussit à éloigner les chaînes de biopolymères les unes des autres, ce qui se traduit comme vous le voyez sur le graphique, par une diminution progressive de la température de transition vitreuse du biopolymère en même temps que la teneur en eau augmente, avec du même coup, une viscosité du polymère qui diminue dans son état fondu. On a ainsi grâce à l'ajout d'eau, un effet plastifiant qui permet à la matrice d'être utilisée comme telle, à l'intérieur du matériau.

Venons-en maintenant aux méthodes d'assemblage de la matière végétale en agromatériaux plastiques. Le choix de cette méthode sera fait en fonction de la composition de la matière végétale à traiter, en particulier le ratio Matrice/Fibre, et également la longueur moyenne des fibres contenues dans la matière.

Lorsque l'on a affaire à des **composites à fibres courtes**, mais présentant également un taux massique de liant élevé, c'est la **technique de l'injection moulage** qui sera privilégiée. Cette technique permet l'obtention d'objets moulés de formes complexes, comme l'écuelle pour animaux domestiques.

Lorsque l'on a affaire à des **composites à fibres longues** mais présentant également un taux massique de fibres<sup>4</sup> élevé, à ce moment-là la viscosité du mélange dans son état fondu ne permet plus de le mouler par injection. C'est donc à ce moment-là le thermopressage et sa technique dérivée dite de thermomoulage qui seront privilégiées et les formes obtenues seront des panneaux ou des objets moulés de forme simple comme la joue de bobine en paille de blé, que vous avez ici par exemple.

Et, enfin, lorsque l'on a affaire à des **biopolymères dans leur état pur** ou quasi pur, ou à des composites fibres végétales-polymères synthétiques, c'est la technique d'extrusion mono-vis qui sera utilisée. Dans ce cas-là, les pièces finales obtenues sont notamment des films ou également des profilés ou des tubes qui seront utilisés dans des domaines comme le bâtiment ou le génie civil par exemple.

Venons-en maintenant au moulage des composites à fibres courtes présentant également un taux massique de matrice<sup>5</sup> relativement élevé. Dans ce cas-là, c'est **l'injection moulage** qui sera choisie comme méthode d'assemblage. Mais il sera nécessaire dans tous les cas de réaliser avant l'injection-moulage une étape de déstructuration par extrusion bi-vis. Cette

---

<sup>3</sup> Voir Glossaire

<sup>4</sup> Voir Glossaire

<sup>5</sup> Voir Glossaire



## MOOC AGRORESSOURCES ET AGRO-INDUSTRIES DURABLES

étape d'extrusion bi-vis permet à la fois une déstructuration, une plastification et un mélange de la matière végétale contribuant ainsi à une disparition de l'organisation macromoléculaire native des biopolymères.

Vous avez donc à l'intérieur de l'extrudeur bi-vis une triple contrainte : thermique, mécanique et chimique.

La contrainte thermique va être appliquée par l'intermédiaire d'un profil de température le long du fourreau.

La contrainte chimique va être appliquée par le biais de l'ajout de molécules de plastification comme l'eau par exemple.

La contrainte mécanique sera rendue possible par l'utilisation de différents types d'éléments de vis le long du profil. Citons tout particulièrement le cas des éléments à pas inverse que l'on appelle également contre-filets et qui permettront d'appliquer à la matière un mélange et un cisaillement intense.

C'est donc effectivement à l'issue de ce transport de la matière le long des éléments contre-filets qu'une plastification des biopolymères mobilisables comme matrice continue à l'intérieur de l'agromatériau sera obtenu.

Ainsi à l'issue du traitement de déstructuration par extrusion bi-vis, différentes opérations élémentaires vont pouvoir être effectuées. On peut citer notamment le cas de la plastification de l'amidon, celui de la dénaturation des protéines, le cas du défibrage des fibres lignocellulosiques, celui de la formulation par ajout de colorants, de plastifiants ou d'agents fongicides ou bactéricides... On a également possibilité, si c'est nécessaire, de rajouter à la matière végétale un polymère synthétique.

A l'issue de ce traitement de déstructuration sont donc obtenus des agrogranulats stockables comme ceux que vous avez ici. Ce sont donc ces agrogranulats qui seront utilisés comme matière première pour l'injection-moulage.

Le moulage par injection est effectué à l'aide d'une presse à injecter. Cet équipement est composé de trois parties :

- Un groupe d'injection appelé également groupe de plastification,
- Un moule,
- Un groupe de fermeture.

Il fonctionne de façon semi-continue.

Six étapes successives sont nécessaires pour la réalisation d'un cycle complet d'injection. La première d'entre elles est le dosage de la matière qui a lieu au niveau du groupe de plastification. Ce groupe est constitué d'une vis de plastification située à l'intérieur d'un fourreau chauffé.

Au cours de l'étape de dosage, la matière est convoyée de la trémie d'alimentation au bout du fourreau par rotation de la vis de plastification. La matière passe alors à l'état fondu, par conduction thermique (sous l'effet du fourreau chauffé) mais aussi par dissipation visqueuse (sous l'effet de contraintes mécaniques de friction et de cisaillement). La pression engendrée par l'accumulation de matière en bout de fourreau fait alors reculer la vis jusqu'à une côte définie par l'opérateur, qu'on appelle la course de dosage. Cette distance est associée à un



## MOOC AGRORESSOURCES ET AGRO-INDUSTRIES DURABLES

volume de matière fondue en attente d'être injectée. Ce volume sera choisi légèrement supérieur au volume de l'empreinte à remplir.

L'étape suivante est le verrouillage du moule, rendu possible grâce au groupe de fermeture. Puis, a lieu l'injection de la matière fondue. Le groupe injecteur avance alors vers le moule jusqu'à ce que la buse du fourreau et la busette du moule soient en contact. Puis, la matière fondue est injectée dans l'empreinte du moule grâce à l'avancée de la vis de plastification qui agit alors comme un véritable piston. La course transversale de la vis est définie par la vitesse d'injection réglée par l'opérateur, la pression d'injection en étant la résultante. La vis avance jusqu'à une distance que l'on appelle la commutation, et qui marque le passage de la phase d'injection à la phase de maintien.

Pendant cette quatrième étape dite de maintien, une pression est exercée par la vis de plastification sur la matière contenue dans l'empreinte du moule. Elle permet à la vis de plastification de continuer à avancer légèrement, compensant ainsi l'éventuel retrait de la pièce au moment de son refroidissement. L'étape de maintien garantit donc un bon remplissage du moule, assurant une bonne reproductibilité dans la fabrication des pièces notamment d'un point de vue dimensionnel.

En même temps que le maintien a lieu la cinquième étape de solidification. La pièce injectée est alors refroidie à l'intérieur du moule. Puis, le moule s'ouvre pour permettre à la pièce d'être éjectée hors de l'empreinte. Le cycle d'injection suivant peut alors commencer.

A titre d'exemple, dans le cas de l'écuelle pour animaux domestiques obtenu à partir d'un tourteau de tournesol, nous observons ici le point d'entrée de la matière fondue à l'intérieur de l'empreinte, puis cette matière va diffuser jusqu'au fond de l'empreinte pour remplir la totalité du volume libre du moule.

Pour l'injection des agrogranulats issus de la matière végétale, il convient d'utiliser des conditions opératoires quelque peu différentes de celles classiquement mises en œuvre pour l'injection des polymères fossiles, comme le polyéthylène ou le polypropylène. Les agrogranulats ont une spécificité qui est leur sensibilité à la décomposition thermique notamment sous cisaillement mécanique. Un certain nombre de précautions devront être prises pour prendre en compte cette sensibilité. Tout d'abord, il sera nécessaire de travailler avec des vis de plastification présentant des rapports Longueur/Diamètre relativement faibles et des taux de compression abaissés. La vitesse de dosage devra également être modérée afin de limiter l'auto-échauffement de la matière lors du dosage. De la même manière, à l'injection, une vitesse faible devra être choisie pour contrôler la pression d'injection puisque on a dans le cas des agrogranulats une viscosité dans l'état fondu de la matière systématiquement plus élevée que celle que l'on a avec des polymères fossiles.

Le moule devra également être adapté aux spécificités de la matière végétale. En effet cette matière contient naturellement de l'eau à la différence des polymères d'origine fossile. Cela a obligera donc à utiliser pour le moule une métallurgie ayant une bonne tenue à la corrosion.



## MOOC AGRORESSOURCES ET AGRO-INDUSTRIES DURABLES

Au regard de ces différentes précautions, lorsque toutes ces précautions sont effectivement prises, il est possible de mouler des pièces par injection avec succès.

Je vais maintenant vous présenter quelques pièces d'usage développées au Laboratoire de Chimie Agro-industrielle. Parlons tout d'abord des pièces d'usage développées à partir d'un tourteau industriel de tournesol : on a dans ce cas-là une protéine qui joue le rôle de la matrice continue thermoplastique à l'intérieur de l'agromatériau. On a notamment développé deux pièces d'usage différentes :

- Le pot de repiquage pour plante permettant à ce pot d'assurer non seulement une fonction de contenant mais également de fertilisant,
- L'écuelle pour animaux domestiques.

On a également travaillé à l'obtention par injection-moulage de pièces à partir de la pulpe de betterave. Ce sont alors les pectines qui jouent un rôle de matrice continue à l'intérieur de l'agromatériau.

Enfin pour terminer, on a réalisé un nombre de travaux conséquents pour ce qui est de l'obtention de matériaux de pièces d'usage à partir de plantes céréalières à matrice amyliacée. C'est donc l'amidon qui est utilisé comme matrice continue. Ces différentes pièces d'usage sont aujourd'hui des pièces commercialisées par la société Vegeplast.

Née d'une thèse effectuée au Laboratoire au début des années 2000, l'entreprise Vegeplast emploie aujourd'hui un peu moins de cinquante salariés et elle développe toute une gamme de pièces d'usage. Citons parmi celles-ci le cas du tee de golf, celui de la capsule de café biodégradable compatible avec les cafetières Nespresso, et quelques autres exemples, en particulier, le lien auto-serrant, l'agrafe à vignes, l'os à mâcher pour les chiens et la barquette alimentaire.

Mais, c'est avec la société Vegeplast, un partenaire fidèle du laboratoire, que le développement de pièces d'usage à matrice amyliacée a été le plus important. Issues de plantes céréalières, on peut citer parmi celles-ci le lien auto-serrant, l'agrafe à vigne, le tee de golf, l'os à mâcher pour les chiens, la barquette alimentaire ou la capsule de café biodégradable. Née d'une thèse effectuée au laboratoire au début des années 2000, l'entreprise Vegeplast emploie aujourd'hui près de 50 salariés.