

## **Panorama des agroressources en industrie.**

### **Quelle place pour les espèces fourragères ?**

I. Vroman<sup>1</sup>

1 : Groupe de Recherche en Sciences Pour l'Ingénieur (GRESPI), équipe matériaux fonctionnels, Ecole Supérieure d'Ingénieurs en Emballage et Conditionnement (ESIEC), Esplanade Roland Garros - Pôle Henri Farman, BP 1029, F-51686 Reims Cedex 2 ; isabelle.vroman@univ-reims.fr

#### **Résumé**

Pour diverses raisons, les industriels s'engagent dans une politique de développement durable et favorisent l'émergence de l'utilisation des ressources renouvelables. Nous nous intéresserons dans cette présentation aux ressources d'origine végétale, en soulignant plus particulièrement celles qui sont issues des plantes fourragères.

Les ressources végétales peuvent être classées en trois catégories : les biopolymères, les molécules intermédiaires de synthèse et les fibres naturelles. Ces trois classes sont décrites successivement. En dernier point, nous nous intéressons à l'utilisation de ces ressources, c'est-à-dire à l'application industrielle qui peut en être faite. Nous évoquerons chaque fois que possible la place des plantes fourragères dans ces applications.

## 1. Introduction

L'épuisement des ressources fossiles puis la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement conduisent les industriels à s'engager dans une politique de développement durable et favorisent l'émergence de l'utilisation des ressources renouvelables.

Les ressources naturelles peuvent être d'origine animale ou végétale, d'origine terrestre ou marine. L'objet de l'intervention est de présenter les différentes ressources issues du monde végétal utilisées à l'heure actuelle et les applications industrielles qui en découlent.

### 1.1. Contexte

Les ressources fossiles sont essentiellement constituées du pétrole, du charbon et du gaz naturel.

Ces ressources répondent aux besoins en énergie d'une population mondiale en augmentation. Par ailleurs, pétrole et gaz naturel sont les matières de base dans la synthèse d'un grand nombre de composés chimiques et en particulier permettent l'obtention des polymères. Les matières plastiques sont elles-mêmes produites à partir de ces polymères. Ces matières plastiques sont présentes dans un grand nombre de secteurs (automobile, bâtiment...), le secteur qui en consomme le plus étant celui de l'emballage. Se posent alors des problèmes de recyclage et de pollution particulièrement importants pour ces plastiques dits « conventionnels ».

La prise de conscience des consommateurs ainsi que celle des politiques et institutionnels, la démarche citoyenne de certaines entreprises ont suscité un intérêt pour les matériaux d'origine naturelle, en particulier les polymères « verts » et les bioplastiques (RABETAFIKA *et al.*, 2006).

De plus, la volonté de chercher de nouveaux usages pour les produits agricoles et de créer de nouveaux emplois en zone rurale a permis le développement d'utilisations non alimentaires des ressources agricoles.

### 1.2. Les différentes ressources végétales

Les plantes fourragères faisant principalement partie des graminées mais aussi des légumineuses, nous rappelons ici les différentes espèces dont l'utilisation est fondamentale pour l'alimentation aussi bien animale qu'humaine et qui ont des applications non alimentaires d'intérêt industriel.

#### – Les graminées

- la canne à sucre : elle constitue la première source de sucre ;
- les céréales cultivées : diverses matières premières utilisées en industrie sont préparées à partir de ces céréales ;
- les plantes exploitées pour leurs fibres ;
- les plantes à usages variés comme le bambou.

#### – Les légumineuses

Si on considère les espèces cultivées en vue d'une utilisation alimentaire, deux catégories peuvent être distinguées :

- les légumineuses fourragères ;
- les légumineuses cultivées pour leur graine (protéagineux).

En revanche, il existe des plantes principalement utilisées pour l'extraction d'huile, comme par exemple le soja, qui permettent l'obtention de composés d'intérêt industriel.

### 1.3. Les différentes modalités d'utilisation industrielle

Ces ressources végétales peuvent être utilisées sous une forme relativement brute, comme les fibres naturelles, mais peuvent aussi permettre l'extraction de composés, dont on peut distinguer deux catégories :

- La première concerne les biopolymères. Ces polymères sont présents dans les organismes vivants, issus de la faune et de la flore : ils sont appelés agropolymères. Ces polymères extractibles sont en général des polysaccharides ou des protéines. Les biopolymères peuvent être également synthétisés par des organismes vivants comme les microorganismes et constituent la classe des polymères microbiens.

- On peut également obtenir, à partir des agroressources, des intermédiaires chimiques comme par exemple des monomères qui permettront la préparation de biopolymères synthétiques.

Ces biomolécules ou biopolymères ont des applications dans divers domaines comme l'industrie chimique, l'emballage, les matériaux composites, le domaine de l'énergie.... Leurs applications seront développées dans la dernière partie de l'exposé.

## **2. Les fibres naturelles végétales**

Il existe un certain nombre de fibres naturelles végétales (DUPRÉ, 2009). Toutes ne sont pas utilisées dans l'industrie. Le lin et le chanvre, qui font partie des fibres lignocellulosiques, sont particulièrement exploités et depuis peu se développe l'utilisation du miscanthus.

### **- Le lin**

C'est une plante annuelle. Pour extraire les fibres de lin de la tige de la plante plusieurs opérations sont nécessaires, comme notamment le teillage. Ces fibres sont très utilisées dans le domaine du textile, pour les articles nécessitant une bonne résistance. Différents coproduits peuvent être également produits : des fibres courtes appelées encore étoupes et les anas, particules ligneuses, appelés couramment « bois », de la tige de lin.

### **- Le chanvre**

C'est également une plante annuelle. On obtient la fibre comme pour le lin. La chènevotte est un coproduit : ce sont des particules ligneuses qui ressemblent aux anas de lin.

### **- Le miscanthus**

C'est une espèce hybride de plantes herbacées de la famille des graminées. Cette plante fut créée au départ dans le but de produire de l'énergie. Elle peut être utilisée comme combustible pour produire chaleur et/ou électricité, peut servir de substitut au charbon ou au bois-énergie de chaudières et poêles individuels et peut être méthanisée. La production de biocarburant à partir de cette plante est également à l'étude. Un autre développement concerne la production de fibres (papier, panneaux de particule). Les performances de cette plante étant proches du lin et du chanvre, les mêmes techniques de production peuvent être employées.

Ces fibres sont très utilisées sur le marché de la construction, pour l'isolation des bâtiments par des agromatériaux et participent à l'écoconstruction.

Cependant, il faut toutefois noter le problème de la variabilité des constituants des fibres (longueur et diamètre) sur leurs propriétés et performances.

De plus, ces polymères ou fibres naturelles sont très hydrophiles par nature : leur capacité d'absorption d'eau est relativement importante. Leur utilisation industrielle nécessite souvent des traitements hydrofuges.

## **3. Les biopolymères naturels**

Ce sont des composés extraits des ressources naturelles directement sous la forme de polymères. Cette extraction est parfois difficile. En effet, dans un même organe, ces molécules sont parfois associées à de nombreuses autres associées à de nombreuses autres molécules. Les organes de réserve (les grains) ont tendance à avoir une composition plus homogène, alors que les plantes entières, comme les fourrages, ont des compositions extrêmement complexes.

### 3.1. Les agropolymères

Ils sont formés dans la nature pendant le cycle de croissance des organismes (VROMAN et TIGHZERT, 2009). Il existe trois types de polymères naturels : les polysaccharides, les polyphénols, et les protéines.

#### – Les polysaccharides

Ils représentent la famille la plus caractéristique de ces agropolymères. L'amidon et la cellulose sont les deux polymères les plus utilisés.

**L'amidon** est un biopolymère très connu. Il est très utilisé du fait de son faible coût. En général, on utilise les amidons de blé, de maïs ou de pomme de terre. On peut envisager l'utilisation de l'amidon extrait des pois protéagineux (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 2007). Dans ses applications, l'amidon peut être utilisé intact, mélangé ou fondu. Ce dernier cas nécessite une mise en œuvre particulière.

**La cellulose** est un autre polysaccharide très connu. Il est le constituant essentiel des fibres de coton. La cellulose est utilisée directement sous forme de fibres, en particulier dans le domaine textile, ou sous forme de charges<sup>1</sup> dans les matériaux composites... Elle peut être modifiée sous forme d'esters, par exemple, pour diverses applications (filtres de cigarettes en acétate de cellulose, cellophane, etc.).

**Les hémicelluloses** sont le deuxième constituant des parois végétales. Elles peuvent être utilisées pour modifier les propriétés de la cellulose ou d'autres polymères, ou dans la mise au point de membranes et d'hydrogels (ces constituants sont utilisés comme épaississants).

#### – Les polyphénols

La lignine est un polyphénol très répandu. C'est un des principaux constituants du bois et des tiges de diverses plantes. Après la cellulose, la lignine est le deuxième biopolymère renouvelable le plus commun sur terre. Cellulose et lignine représentent plus de 70% de la biomasse totale. Actuellement, les lignines sont peu digestes et donc peu recherchées dans la culture de plantes fourragères. La valorisation principale actuelle des lignines est la production d'énergie. Toutefois, des utilisations non énergétiques sont envisageables : elles peuvent être utilisées comme constituants de matériaux, molécules bioactives, etc. (BAUMBERGER, 2010).

#### – Les protéines

Ce sont des hétéropolymères constitués d'acides aminés. On peut les utiliser comme bioplastiques en les transformant par des procédés classiques.

On trouve des applications pour le gluten de blé, la zéine de maïs, la protéine de soja. Plus récemment, des chercheurs travaillent sur la protéine de coton.

D'un point de vue technique, on peut envisager l'extraction de protéines présentes dans des plantes légumineuses comme le pois fourrager ou la luzerne. Toutefois, les quantités disponibles sont faibles et sont très dépendantes des politiques incitatives à la production des protéagineux ou de la luzerne en France. En 1974, un plan « protéines » a été lancé par la France pour la production nationale de protéines végétales (tourteaux de colza et de tournesol, plantes protéagineuses). Malheureusement abandonné, la Confédération paysanne a cherché à le relancer (Confédération paysanne, 2002). La mise en place d'aides européennes devrait permettre la relance.

### 3.2. Les polymères microbiens

Ce sont des polyesters aliphatiques synthétisés par voie enzymatique ou bactérienne (VROMAN et TIGHZERT, 2009). On les note PHA pour polyhydroxyalcanoates. Les polymères utilisés sont des polymères ramifiés c'est-à-dire des polymères possédant des chaînes latérales. Les propriétés de

---

1 : Substance qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés, d'améliorer l'aspect de surface ou de réduire le prix de revient du matériau transformé.

ces polymères sont modulables en fonction de la longueur de ces chaînes. Dans le cas de chaînes courtes, on obtient des plastiques durs et cassants ; les chaînes plus longues conduisent à des élastomères thermoplastiques.

## **4. Les molécules et macromolécules chimiques issues des ressources renouvelables**

### **4.1. Les molécules issues des agroressources**

#### **– Les triglycérides**

Ce sont des molécules extraites des huiles végétales et comportant des doubles liaisons. Ces triglycérides peuvent être utilisés tels qu'extraits mais également comme monomères. En effet, par ouverture des doubles liaisons et transformation en groupements réactifs, ils sont susceptibles d'être polymérisés pour la fabrication de plastiques comme des polyesters, polyester-amide et polyuréthane.

#### **– Molécules obtenues par hydrolyse et fermentation de polysaccharides**

L'amidon est le polysaccharide le plus utilisé pour la préparation de ces molécules. L'hydrolyse de l'amidon va permettre l'obtention de glucose qui, par fermentation, conduira à la préparation de divers acides et alcools. Les monomères à base acide obtenus ainsi sont les acides lactique, glycolique, 3-hydroxybutyrate et succinique. Les monomères à base alcool sont le propanediol et butanediol. Ces alcools et acides peuvent être utilisés dans la fabrication de bioplastiques.

D'autres sucres issus de ressources renouvelables sont par ailleurs utilisables. Ainsi, la fermentation du saccharose issu de la canne à sucre ou de la betterave sucrière permet l'obtention d'éthanol.

#### **– Molécules obtenues par hydrolyse et fermentation des hémicelluloses**

Les hémicelluloses peuvent conduire par hydrolyse et fermentation à l'obtention de furfural et d'acide itaconique.

Le furfural (Pôle IAR, 2009) est une molécule dérivée de résidus agricoles. Il permet la fabrication d'alcool furfurylique servant à préparer des résines polymères mais est également le précurseur d'une large gamme de monomères et de différents solvants.

L'acide itaconique est utilisé comme comonomère dans la synthèse de différents polymères, d'adhésifs, de détergents...

#### **– Molécules obtenues par hydrolyse des protéines**

Des aminoacides comme l'acide glutamique et la lysine sont obtenus par hydrolyse de protéines et peuvent servir à la préparation de polyamides.

### **4.2. Les biopolymères synthétiques**

La plupart des molécules décrites précédemment (molécules obtenues par hydrolyse de polysaccharides, protéines et hémicelluloses) sont utilisées comme monomères pour la préparation de bioplastiques. Les principaux sont développés ci-après (VROMAN et TIGHZERT, 2009). Il faut cependant noter que leur stade de développement au niveau industriel est très inégal.

#### **– Les biopolyesters aliphatiques**

**Le PLA** ou poly(acide lactique) est le biopolyester le plus utilisé actuellement. La voie de synthèse traditionnelle nécessite trois étapes. La première est la fermentation du sucre obtenu à partir d'amidon de maïs ou de canne à sucre conduisant à l'obtention d'acide lactique. Celui-ci est ensuite dimérisé en lactide puis polymérisé pour donner du PLA. Une nouvelle voie de synthèse en développement implique la bioraffinerie des résidus de maïs. Les domaines d'applications de ces polymères sont nombreux.

**Le PBS** ou poly(butylène-succinate) est synthétisé par polycondensation de 1,4 butanediol et d'acide succinique. Un mélange d'acide succinique et adipique permet l'obtention de PBSA ou poly(butylène succinate adipate).

#### – Les copolyesters aromatiques

Les propriétés mécaniques des biopolyesters aliphatiques sont inférieures à celles des polyesters d'origine pétrochimique (le polyéthylène téréphthalate ou PET classiquement utilisé). Une gamme de copolyesters a donc été développée : PBAT, PTT, PBT, PBST.

#### – Les polyuréthanes

Ils sont synthétisés par polycondensation d'un isocyanate (d'origine pétrochimique) et d'un polyol biosourcé. Ceux-ci sont obtenus à partir d'huiles végétales (dérivés d'huiles de ricin, de graines de colza, de soja ou de palme) ou par fermentation (à partir de sucres).

#### – Les polyamides

A partir d'huile de ricin, par différentes réactions chimiques, on peut préparer de l'acide amino-undécanoïque ou de l'acide sébacique qui, une fois polycondensé, donne respectivement du polyamide 11 ou du polyamide 10.

#### – Les polyoléfines

Par fermentation de saccharose issu du broyage de la canne à sucre, on obtient de l'éthanol qui une fois distillé et déshydraté donne l'éthylène, monomère de base dans la préparation de poly(éthylène).

## 5. Les utilisations et applications

### 5.1. Les plastiques biosourcés

Les bioplastiques présentés précédemment peuvent être utilisés directement par des procédés classiques de plasturgie pour la mise en œuvre de divers objets (RABETAFIKA *et al.*, 2006 ; VROMAN et TIGHZERT, 2009). Ils sont utilisés dans des domaines très variés comme la médecine, l'agriculture, l'emballage et également l'électronique.

### 5.2. Les matériaux composites

On peut définir un matériau composite comme l'association entre une matrice polymère et des charges et/ou fibres. La matrice polymère utilisée pour les composites dits verts est un polymère biosourcé et/ou biodégradable. Les polyesters sont le plus souvent utilisés. Toutefois, des travaux concernant les protéines émergent. Ainsi, les tourteaux de soja (ou autres) ont des applications comme résine pour composites (GUILBERT, 2005). *Il est peut-être possible d'envisager l'utilisation de la luzerne déshydratée qui est très riche en protéines.*

#### – La construction, le bâtiment

Le chanvre et la chènevotte (tige du chanvre dépourvue de son écorce) sont utilisés dans les bétons de chanvre (blocs de béton ou béton projeté ; HUSTACHE, 2009). On peut également utiliser des pailles dans les matériaux de construction. Des panneaux isolants ou/et bétons de bois peuvent être préparés à partir de pailles de colza : elles sont en effet suffisamment rigides pour cette application. Les pailles d'orge sont beaucoup plus fibreuses. Des isolants souples ou semi-rigides pourraient alors être obtenus. Des bétons de bois sont aussi préparés à partir des pailles de miscanthus.

*On peut se demander si la paille laissée sur le champ après la récolte des pois fourragers peut servir.*

On utilise également des pulpes de betteraves : leurs propriétés isolantes et plastifiantes les rendent intéressantes pour le domaine du bâtiment. Les étoupes de lin peuvent servir d'isolants

thermiques, quant aux anas de lin, on les utilise pour leurs propriétés thermiques liées au fait que ce sont des particules creuses (DUPRÉ, 2009).

#### – L'automobile

Dans le domaine de l'automobile, on utilise beaucoup les matériaux composites verts c'est-à-dire constitués d'une matrice polymère bioplastique associée à des fibres végétales. Par exemple, Toyota utilise des panneaux à base de PLA renforcé par des fibres de kénaf (autre fibre lignocellulosique comme le chanvre et le lin) pour les portières et tableaux de bord.

### 5.3. La chimie de spécialité

#### – Les agrosolvants

Un solvant est un liquide qui permet de dissoudre ou de diluer d'autres composants. Les agrosolvants sont une alternative à l'utilisation des solvants d'origine pétrochimique. Ils sont obtenus à partir des plantes oléagineuses, de la betterave, des plantes contenant de l'amidon (céréales). Leurs performances techniques sont un peu plus faibles que celles des solvants pétrochimiques.

#### – Les agrotensioactifs

Les tensioactifs sont des molécules qui servent d'agent de surface, et possèdent différentes propriétés : agents mouillants, agents émulsionnants et/ou détergents (VANDEPUTTE et GARRIER, 2009).

La particularité de ce type de molécules est d'être constituée d'une tête polaire ionique (hydrophile) sur une longue chaîne hydrophobe. Dans les agrotensioactifs, la partie hydrophile peut être une protéine (issue par exemple du gluten de blé ou de maïs) ou un carbohydrate (différents sucres comme le xylose, le glucose).

#### – Les biolubrifiants

Une substance grasse permettant de réduire les frottements entre deux surfaces est un lubrifiant. Les biolubrifiants sont obtenus à partir des huiles végétales et des esters d'acides gras d'origine renouvelable (VANDEPUTTE et GARRIER, 2009).

### 5.4. Les valorisations énergétiques

Dans le domaine de l'énergie, la biomasse peut être utilisée comme combustible mais aussi pour produire des biocarburants ou peut être méthanisée. Cette dernière application ne sera pas développée ici puisqu'elle fait l'objet d'autres interventions.

#### – Chaudière à biomasse

La valorisation de la biomasse concerne la combustion de celle-ci en vue de produire de la chaleur ou de l'électricité. La biomasse peut être une alternative au chauffage urbain. Les matériaux combustibles utilisés sont des produits renouvelables comme par exemple le miscanthus, la luzerne (DESPRES, 2009), le lin (LARCHER, 2009) mais également des pailles de céréales (blé, orge, triticale).

#### – Biocarburants

A partir de la biomasse, on peut produire des biocarburants dits de première génération.

On produit ainsi du bioéthanol à partir de la fermentation du sucre extrait de céréales (blé ou maïs) ou de la betterave. Les coproduits de fermentation sont utilisés entre autres pour l'alimentation animale. Ce sont soit des drèches (granulés) riches en protéines, soit de la pulpe (cas de la betterave).

On peut également obtenir des biocarburants à partir de résidus de culture agricole (paille) ou de cultures spécifiques (taillis de courte rotation, miscanthus). Ces biocarburants n'exploitent pas les molécules dites de « réserve » comme huile, sucre, amidon mais la lignocellulose des plantes.

Actuellement, sont développés les biocarburants de deuxième génération : ce sont les plantes entières qui sont transformées et on valorise la lignocellulose qu'elles contiennent.

Les chercheurs de l'INRA travaillent sur différentes espèces : miscanthus, switchgrass (*Panicum virgatum*), sorgho, triticale, luzerne, fétuque élevée et des plantations de peupliers cultivées en taillis à très courte rotation (TTCR) (projet Regix<sup>2</sup>).

## Conclusion

Nous avons présenté ici les ressources végétales utilisées dans le monde industriel. Les espèces fourragères sont relativement peu présentes, pourtant leur coût de production relativement bas pourrait présenter un avantage économique. L'inconvénient de ces espèces réside essentiellement dans le fait qu'elles sont constituées d'un mélange de molécules potentiellement utilisables et le défi de l'usage de ces plantes est l'extraction de ces molécules. Pour accroître l'utilisation de ces espèces, il serait certainement intéressant de pouvoir produire des espèces plus riches en un constituant (de tels travaux ont été menés sur l'amélioration par biotechnologie de la qualité des fibres issus des plantes).

Mentionnons pour finir qu'une large étude est menée dans le cadre d'un projet financé par l'ANR, VegA, sur la question « quels végétaux pour la biomasse du futur » ? Ce projet va permettre non seulement d'identifier les végétaux où sont présentes des structures intéressantes en termes d'utilisation industrielle mais également de proposer des techniques de production et de valorisation de ces molécules, dans des espèces végétales déjà cultivées et domestiquées mais également dans des espèces non exploitées actuellement.

## Références bibliographiques

- BAUMBERGER S. (2010) « Les lignines, des matières premières agro-industrielles pour les matériaux », séance Académie d'Agriculture, 17 février 2010, Paris.
- Confédération paysanne (2002) « Un plan protéines pour l'Europe, Analyses et propositions de la Confédération paysanne »
- DESPRES J.L. (2009) « Le développement des TTCR et du miscanthus combustibles », journée technique Biomasse et Débouchés actuels et futurs pour les agriculteurs, 20 novembre 2009, Laon.
- DUPRÉ B. (2009) « Agro-ressources : quels gisements, quels freins ? », journée technique Biomasse et Débouchés actuels et futurs pour les agriculteurs, 20 novembre 2009, Laon.
- GUILBERT S. (2005) « Tour d'horizon de l'utilisation industrielle des biopolymères », journée technique Biomasse et Environnement, 1-2 juin 2005, Montpellier.
- HUSTACHE Y. (2009) « le béton de chanvre, un matériau de construction moderne », journée technique Biomasse et Débouchés actuels et futurs pour les agriculteurs, 20 novembre 2009, Laon.
- LARCHER J. (2009) « Le projet de chaufferie collective », journée technique Biomasse et Débouchés actuels et futurs pour les agriculteurs, 20 novembre 2009, Laon.
- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (2007) : *Rapport du groupe de travail sur les glucides, partie 2*, mars 2007, dans le cadre du PNNS, Programme National Nutrition Santé.
- Pôle IAR (2009) Compte-rendu de la journée technique sur la production et la valorisation du furfural, organisée par le pôle IAR, 17 juin 2009, Reims.
- RABETAFIKA H., PAQUOT M., DUBOIS P. (2006) « Les polymères issus du végétal : matériaux à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique », *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 10 (3), pp 185-196.
- VANDEPUTTE J., GARRIER E. (2009) pôle IAR, fiches Priv n° 2, 3 et 5.
- VROMAN I., TIGHZERT L. (2009) "Review of biodegradable polymers", *Materials*, 2(2), pp 307-344.

---

2 : REGIX (Référentiel unifié, méthodes et expérimentations en vue d'une meilleure évaluation du gisement potentiel en ressources lignocellulosiques agricole et forestière pour la bioénergie en France) est financé dans le cadre du programme National Recherche Bioénergie de l'Agence Nationale de la Recherche (2005-2009)