

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



Chimie du bois : une filière d'avenir ? Perspectives potentielles pour le secteur bois wallon

Pierre-Louis Bombeck

Chef de projet bois-énergie et chimie du bois chez ValBiom

Filière en plein essor, la chimie du bois se développe partout dans le monde sous l'impulsion des grands groupes papetiers. En Wallonie, des pistes pour l'avenir existent, mais plutôt dans la « chimie fine », pour des produits de niche à haute valeur ajoutée.

RÉSUMÉ

Ces dernières années, la chimie du bois connaît un véritable retour en force. Connue depuis longtemps mais abandonnée au profit de la pétrochimie, celle-ci revient sur le devant de la scène et intéresse tant les industriels de la chimie que ceux issus du secteur bois. Grâce à ces différents constituants, le bois peut servir de matière première à la production de nombreuses molécules d'intérêts. Au niveau mondial, de véritables bioraffineries forestières ont déjà vu le jour. Mais en Wallonie, cela semble peu probable. Chez nous, c'est

par la valorisation des extractibles – en particulier ceux que l'on retrouve dans les coproduits actuellement les moins valorisés (écorces, nœuds...) – que la filière « chimie du bois » a les meilleures chances de se développer. Elle viendrait se greffer aux chaînes de valorisation existantes, sans les perturber, et en apportant une plus-value au secteur bois. Par ailleurs, la chimie du bois pourrait également permettre une redynamisation des filières déclinantes, comme le sciage des feuillus, en y valorisant les coproduits.

La chimie du bois, basée sur la valorisation des molécules qui composent le bois, est en plein essor. Souvent méconnue, cette filière est pourtant considérée comme une filière d'avenir pour de nombreux acteurs de l'industrie du bois. En témoignant les multiples exemples de valorisation existants en Europe. Mais quel est le potentiel de la forêt wallonne ? Le secteur de la chimie du bois peut-il se développer dans notre région ?

Chimie et bois : retour aux sources

Ces dernières années, le bois fait son grand retour dans un domaine où on a peu l'habitude de le rencontrer : celui de la chimie du végétal. Étonnant ? Pas vraiment, quand on pense aux exemples dans lesquels chimie et bois se mélangent au fil de l'Histoire.

Il y a des siècles, un des premiers produits chimiques issus de la transformation du bois était le goudron végétal, employé tant pour protéger les structures (elles-mêmes en bois) que pour préserver la santé humaine (certains de ces goudrons pouvant servir d'antiseptique).

Dès l'Antiquité, l'extrait d'écorce de saule était réputé pour ses vertus médicamenteuses. À l'époque déjà, on utilisait la salicyline (principe actif de l'aspirine, aujourd'hui produite par synthèse) contenue dans le saule blanc comme anti-inflammatoire. L'exsudat résineux de pin était employé par l'industrie résinière pour goudronner les cordages et calfeutrer les navires. Une fois distillés, ces exsudats donnaient alors l'essence de térébenthine et la colophane et servaient à la préparation de colles, peintures et vernis. Quant aux tanins, extraits d'écorces de chênes ou de châtaigniers, ils étaient employés en tannerie et en tonnellerie.

Parmi ces exemples, citons également l'utilisation du latex de l'hévéa comme caoutchouc naturel, du bois de santal ou de cèdres dans la confection des parfums, celle de l'écorce de cannelle pour l'alimentation ou la médecine ou encore l'utilisation des cendres de bois (par exemple de laurier), valorisées en intrant dans la composition des savons.

On constate donc que – depuis longtemps – l'Homme emploie et valorise les composés chimiques issus du bois.

Des procédés datant de l'ère industrielle

Bien que la chimie du bois ne soit pas une filière novatrice, son essor à grande échelle apparaît avec

l'ère industrielle (19^e siècle), en particulier avec l'émergence du secteur papetier. Les papetiers, à la recherche d'autres sources de fibres, se sont rapidement tournés vers cette ressource abondante qu'est la forêt. Au départ de procédés mécaniques de séparation des fibres, ils ont ensuite basculé vers des méthodes chimiques de purification de la cellulose. Afin d'obtenir une purification optimale des fibres, il était nécessaire de connaître les composés du bois et d'en comprendre sa structure chimique.

Ces connaissances ont ouvert les portes au développement de diverses techniques de valorisation. Au 19^e siècle, l'essor de la carbonisation du bois a notamment permis la production de méthanol, d'acétone, d'acide acétique et d'huiles de goudrons que l'on retrouve dans des produits désinfectants ou de traitement du bois.

Avant la pétrochimie, le bioraffinage du bois permettait déjà d'extraire des molécules entrant dans la composition de nombreux produits. À l'époque, la distillation du bois était une technique répandue. Il s'agissait d'isoler les composés organiques volatils (COV) tels que l'acide acétique, l'acétone ou l'alcool méthylique. On appelait d'ailleurs le méthanol « alcool de bois » ou « esprit-de-bois ».

Avec la montée en puissance de la pétrochimie et des procédés de synthèses chimiques, on tourne la page de la xylochimie. Le bois et la forêt sont relégués aux rôles de matériaux et de combustibles, et on favorise alors d'autres sources et procédés pour produire toutes ces molécules.

Aujourd'hui, la volonté de notre société de sortir de notre dépendance au pétrole pour des raisons écologiques et économiques poussent les scientifiques et – surtout – les industriels à se réintéresser au bois. On revoit en lui et en ses composés une source durable, abondante et renouvelable de produits et molécules.

Plongée au cœur du bois

Quelle que soit l'essence, le bois est composé en majorité de trois constituants : la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. Ces polymères se retrouvent dans le bois suivant les proportions approximatives d'une moitié de cellulose, d'un quart d'hémicelluloses et d'un quart de lignine. Ces trois constituants majeurs interagissent pour donner au bois sa structure, comparable à celle d'un composite. C'est-à-dire, une matrice formée de lignine, renforcée par des fibres de cellulose et dont l'interaction fibre-matrice est assurée par les hémicelluloses. On retrouve ces composés

structuraux dans des proportions variables selon qu'il s'agisse de bois de feuillus ou de résineux (figure 1).

En plus de ces principaux composés structuraux, on peut également retrouver toute une diversité d'autres substances non-structurantes et de faible poids moléculaire, et dont la présence varie selon les essences. De telles substances sont regroupées sous le terme « extractibles ».

Enfin, on retrouve également dans le bois des composés minéraux qui, après combustion, constitueront les cendres. On y retrouve ainsi du soufre, du phosphore, du silicium, du potassium, du magnésium, etc.

La cellulose

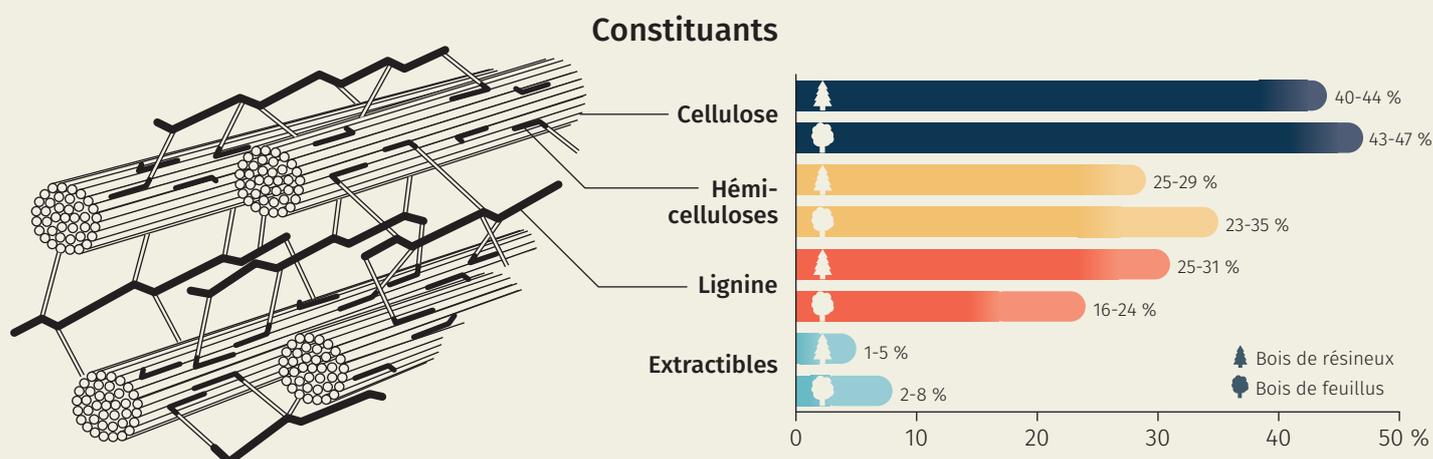
La cellulose constitue le principal constituant du bois (environ 50 %) mais aussi le plus simple et le plus connu. Il s'agit d'un polymère de glucose qui se présente sous la forme d'une chaîne linéaire dans laquelle se répètent de manière successive les unités de glucoses. La cellulose diffère de l'amidon (lui aussi composé de glucose) par l'arrangement différent de ses molécules de glucose. C'est la disposition linéaire, orientée et partiellement cristalline des chaînes de cellulose qui confèrent aux cellules du bois leur nature fibreuse. La cellulose a toujours la même constitution, quelle que soit l'essence ou même la source (bois, coton, etc.). Le seul élément qui varie est le nombre plus ou moins élevé d'unités de glucose qui la compose, engendrant alors des fibres de cellulose plus ou moins longues.

Si le débouché actuel principal (en termes de volume) de la cellulose est d'entrer dans la fabrication des pa-

piers et cartons, il est également possible de la modifier chimiquement et de lui conférer de nouvelles propriétés. Des méthodes existent aussi pour « déconstruire » ces chaînes de sucres et en récupérer alors les sucres simples (glucose, cellobiose, cellotriose). Ces sucres peuvent alors suivre des voies de fermentations ou de conversions chimiques spécifiques qui permettent d'obtenir une grande variété de produits. Dans ses prospections de filières d'avenir, ValBiom émet cependant des réserves sur l'intérêt de déconstruire le bois pour aller y chercher des sucres simples comme le glucose. Celui-ci est en effet bien plus facilement accessible dans d'autres matières premières.

Mais il n'est pas non plus nécessaire de déconstruire totalement la cellulose pour en obtenir de nouveaux produits. En effet, les fibres de cellulose sont comparables à un câble métallique : elles sont formées de chaînes de cellulose (les fils du câble) « tressées » entre elles pour former un élément semblable à un toron, lui-même tressé à d'autres pour former le câble (la fibre). Des procédés permettent de détresser ce câble pour en obtenir des éléments de très faibles diamètres (de l'ordre d'une centaine de nanomètres) tout en conservant une longueur suffisante. Ces nouvelles fibres sont appelées micro-fibrilles de cellulose (ou microcellulose) et nano-fibrilles (nanocellulose) selon le diamètre obtenu. Ces fibres possèdent des propriétés mécaniques supérieures à leurs fibres-mères. Les fibres de nanocellulose peuvent même avoir une résistance mécanique proche de celle du kevlar. À ce stade, bien que les technologies industrielles de production existent (par exemple : l'entreprise canadienne *CelluForce*), le marché ne semble pas encore mûr pour la nanocellulose.

Figure 1. Composition chimique moyenne des bois de résineux et de feuillus en zone tempérée¹.





La lignine

La lignine est le constituant caractéristique des plantes vasculaires et le composé structural du bois le plus complexe et le moins connu. À l'inverse de la cellulose et des hémicelluloses, elle n'est pas composée de sucres mais d'unités phénoliques formant des polymères aromatiques. Ses formes, basées sur trois monolignols différents, sont si variées qu'il serait plus juste de parler des lignines que de la lignine. Ses structures et sa composition sont également d'une grande variabilité inter- et intra-espèce.

Malgré le fait que ce composant structural soit peu connu, il possède des fonctions essentielles. Cette « colle naturelle » du bois assure le lien entre les fibres de cellulose. Très résistants et hydrophobes, les polymères de lignine insérés dans les parois cellulaires assurent l'imperméabilité des vaisseaux conducteurs de sève. De plus, la lignine confère de la rigidité aux parois cellulaires du bois. En jouant un rôle de barrière physique et hydrophobe, elle apporte ainsi aux tissus lignifiés une forte résistance aux attaques biologiques.

D'un point de vue structural, le bois est un composite formé de l'assemblage de divers types de cellules. Cet assemblage se fait via les lamelles moyennes, consti-

tuées presque exclusivement de lignine. Avec cette structure composite rendue possible, le bois acquiert des propriétés de résistance à l'impact, la flexion et la torsion. Cela rend possible son utilisation comme matériau et son adéquation aux traitements mécaniques impliqués dans les différents types de transformation du bois.

Indésirables dans la fabrication des pâtes à papier dites chimiques et dotée d'un pouvoir calorifique important, les lignines sont habituellement dissoutes, extraites et brûlées par les papetiers. Cette phase de régénération des liqueurs sert un double objectif : la régénération des réactifs chimiques et une production d'énergie (généralement) via une unité de cogénération, afin de couvrir une partie des besoins importants des usines de papiers. Mais les lignines peuvent aussi être utilisées pour leur propriétés émulsifiantes (colorants, cires, bétons, asphaltes) ou dans la production de fibres de carbone. La vanilline (l'arôme artificiel de vanille), destinée au secteur alimentaire, peut aussi être produite au départ de la lignine. Si le procédé de mise en pâte du bois est un procédé au sulfite, la lignine qui y est dissoute est une « lignine sulfonée », permettant d'obtenir des ligno-sulfates. Ces dernières sont des lignines industrielles couramment disponibles sur le marché et principale-

ment commercialisées par le papetier norvégien *Borregaard* et sa filiale *LignoTech*.

Les hémicelluloses

Le troisième constituant structural du bois est un ensemble de polymères plus complexes et plus courts que la cellulose : les hémicelluloses. Elles se présentent sous forme de chaînes ramifiées, composées de différents sucres (alors que la cellulose n'est composée que de glucoses arrangés linéairement). Ces sucres peuvent être composés de cinq atomes de carbone (les pentoses) ou de six atomes (les hexoses).

À l'inverse de la cellulose, qui présente la même structure dans les différentes essences, les hémicelluloses varient considérablement selon l'essence concernée. Les hémicelluloses des feuillus sont généralement plus riches en pentoses et celles des résineux, plus riches en hexoses.

Actuellement, les hémicelluloses sont principalement utilisées dans l'industrie papetière afin de conférer une robustesse au papier. Mais elles pourraient aussi se retrouver dans une multitude d'autres applications (alimentaires, textiles, solvants, etc.) du fait de la diversité de type d'hémicelluloses que l'on retrouve.

Les extractibles

On désigne par le terme « extractibles » la large gamme de molécules que l'on peut extraire du bois à l'aide de solvants ou même d'eau. Ces molécules peuvent être valorisées dans des secteurs très divers comme la pharmaceutique, la cosmétique, l'alimentation, la construction (colles, vernis, peintures...).

Le bois peut notamment contenir :

- des résines, famille de molécules formées au départ d'acides gras et de terpènes,
- des tannins, composés phénoliques extractibles du bois, des nœuds ou encore des écorces de certaines essences dont le chêne et le châtaignier,
- des sucres extractibles, comme ceux que l'on extrait de l'érable à sucre,
- des huiles aromatiques, comme l'huile de cèdre,
- du latex, extrait – par exemple – de l'hévéa, arbre à caoutchouc...

Quels sont les acteurs déjà impliqués ?

Sans surprise, l'industrie papetière est celle qui s'intéresse le plus à la chimie du bois. Le déclin constant du marché du papier pousse cette filière à rechercher de nouveaux débouchés. La Confédération Européenne



des Industries du Papier (CEPI) prévoit d'ailleurs dans sa stratégie 2050 une croissance de 3,5 milliards d'euros pour les produits biobasés issus de la filière papetière d'ici 2050 par rapport à 2010.

Les papetiers, déjà maîtres dans la déconstruction du bois et se focalisant principalement sur la cellulose, se tournent aujourd'hui de plus en plus vers d'autres constituants du bois. La filière possède déjà de bons atouts pour se diversifier : une logistique d'approvisionnement bien en place, des infrastructures de qualité, du personnel qualifié, une capacité d'investissements...

Parmi les grands papetiers internationaux qui misent sur la chimie du bois, on peut citer *Tembec*, *SAPPI* ou *Borregaard*. Ceux-ci et d'autres investissent pour convertir certains de leurs sites en véritables bioraffineries forestières, s'éloignant ainsi de l'unique activité de production de pâtes à papier. Ils s'orientent vers une chimie que l'on peut qualifier de « lourde », qui implique de grands volumes et une valeur ajoutée plus faible.

À l'inverse, d'autres acteurs sont orientés vers une chimie dite « fine ». Cette chimie cible des marchés de niche et se caractérise par la production de petits volumes mais à haute, voire très haute, valeur ajoutée.

Parmi nos voisins, citons les suisses *Horphag Research* (avec le Pycnogenol, un antioxydant naturel extrait d'écorce de pin maritime) et *Linnea* (avec les lignanes HMR, extraites de l'épicéa et employées dans la pharmacutique). L'italien *Silvateam* est actif dans les tannins industriels, tandis que le français *Laffort* est spécialisé dans les tannins purs, principalement à usage œnologique. Le français *DRT* est – quant à lui – actif depuis 1932 dans la valorisation des résines de pin maritime et des terpènes, avec aujourd'hui plus de 250 produits (parfumerie, adhésifs, compléments alimentaires, bitume biosourcé, etc.).

La Wallonie : eldorado pour la chimie du bois ?

En Wallonie, il est en réalité peu probable de voir se développer une chimie lourde issue du bioraffinage du bois. La structuration actuelle de la filière, les prix et la pression sur l'approvisionnement ne permettrait pas l'installation d'une nouvelle unité, dédiée spécifiquement au bioraffinage forestier, qui détournerait les flux de bois.

Une chimie du bois basée sur une valorisation de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine avec de grands volumes de produits pourrait éventuellement se développer si la seule usine de pâte à papier





chimique wallonne (*Burgo Ardennes* à Virton) réorientait son activité. Mais cela ne semble actuellement pas leur priorité.

En revanche, un potentiel de développement existe pour une filière chimie du bois de type « chimie fine », orientée vers des marchés de niches et des produits à haute valeur ajoutée. Selon ValBiom, qui plaide et travaille au développement d'une telle filière en Wallonie, une chimie du bois wallonne pourrait se développer autour des extractibles forestiers.

Extractibles : le nouvel or vert wallon

Les extractibles se retrouvent dans tous les compartiments de l'arbre, à des concentrations différentes selon le compartiment, l'âge de l'arbre, ses conditions de croissances, etc.

Ce qui rend intéressante l'idée de développer une filière « chimie du bois » aboutie, c'est surtout le fait que les extractibles sont particulièrement présents dans les coproduits les moins valorisés de l'industrie du bois. À savoir : les écorces, les nœuds, les feuilles et les aiguilles. De plus, la Wallonie dispose de solides compétences dans le domaine de l'extraction au

travers de ses universités, ses centres de recherche et ses entreprises déjà actives dans le secteur. Si les techniques d'extraction sont connues et maîtrisées, le challenge reste bien présent lorsqu'il s'agit de purifier les extraits pour en sortir la ou les molécules spécifiques d'intérêts. C'est la même chose pour ce qui est de conférer de nouvelles propriétés à ces molécules, via ce que l'on appelle la « fonctionnalisation ».

Un autre intérêt de l'extraction forestière basée sur les coproduits est qu'elle ne détournerait pas forcément ces flux de connexes de leurs usages actuels. Cette nouvelle filière peut s'intégrer de manière harmonieuse dans la filière bois, en s'insérant dans la chaîne de valorisation existante et sans nécessairement perturber la valorisation actuelle des coproduits. De cette manière, ces procédés constitueraient des étapes et des modules supplémentaires et bénéfiques. Ils se grefferaient aux processus existants sans empêcher ces derniers d'aboutir aux produits « classiques » de l'industrie.

Le cas des écorces illustre bien cette possibilité. Il s'agit certainement d'un des coproduits les plus faiblement valorisables actuellement, si ce n'est en énergie dans des chaudières spécifiques ou comme couverture de sol pour les parcs et jardins. Or, les écorces contiennent un taux d'extractibles généra-

Les débouchés et marchés potentiels

Théoriquement, les molécules issues du bois pourraient remplacer la quasi-totalité des molécules issues de la pétrochimie ou de la chimie de synthèse. Ci-dessous, une liste non-exhaustive des produits et applications possibles au départ des molécules du bois.

Exemples de produits et d'applications possibles au départ de la **cellulose**.

Molécules ou produits	Applications
Fibres de cellulose	Papiers et cartons
Micro- et nanocellulose	Papiers et cartons, composites, peintures, vernis, cosmétiques, produits pharmaceutiques (excipients), électroniques...
Fibres de spécialité	Pneus, produits alimentaires (boyaux de saucisses), filtres automobiles
Acétate de cellulose	Filtration, plastiques, écrans LCD
Éthers de cellulose	Peintures, revêtements industriels, aliments, produits pharmaceutiques
Nitrocellulose	Encres, laques, vernis
Viscose	Textiles
Acide lactique	Bioplastiques, additifs alimentaires, agents bactériostatiques
Acide succinique	Cosmétiques, textiles, agroalimentaires, bioplastiques
Acide lévulinique	Produits pharmaceutiques
Éthanol	Biocarburants
Sorbitol	Pharmaceutique, cosmétique, agroalimentaire
Colophane	Colles

Exemples de produits et d'applications possibles au départ des **lignines**.

Molécules ou produits	Applications
Fibres de carbone	Matériaux composites
Lignosulfonates	Agriculture, nourriture animale, noir de carbone, adjuvants du béton, adhésifs, dispersant
Vanilline	Agro-alimentaire
Phénols	Pharmaceutique, cosmétique, agroalimentaire
Gaïacols	Pharmaceutique et médicale
Charbons actifs	Filtration, traitement air et eau

Exemples de produits et d'applications possibles au départ des **hémicelluloses**.

Molécules ou produits	Applications
Furfural	Solvants, textiles
Xylitol	Édulcorants

Exemples de produits et d'applications possibles au départ des **extractibles**.

Molécules ou produits	Applications
Térébenthine	Colles, solvants
Tanins	Tannerie, tonnellerie, alimentation animale
Lignanes	Pharmaceutique, antioxydants
Stilbènes	Pharmaceutique, colorants
Flavonoïdes	Produits pharmaceutiques : antioxydants, anticancéreuses, cardiovasculaires
Cires et graisses	

lement supérieur à celui du bois. L'ajout d'une étape d'extraction pourrait s'envisager entre l'étape d'écorçage et celle de la valorisation énergétique. Extraire les molécules d'intérêt au lieu de les brûler apporterait donc une valorisation supplémentaire à ce connexe. Un connexe qui est d'ailleurs généré par l'ensemble des industries qui travaillent le bois rond.

L'intérêt pour la filière forêt-bois

De nombreux procédés de valorisation peuvent ou visent à s'intégrer dans l'industrie de la première transformation du bois. Ces procédés constituent des étapes et des modules supplémentaires, se greffant aux processus existants et n'empêchant pas ces derniers d'aboutir aux produits classiques de l'industrie.

L'émergence d'une filière wallonne d'extraction forestière pourrait également apporter une piste de valorisation à certaines essences actuellement sous-exploitées, comme par exemple le bouleau dont l'écorce est riche en bétuline.

En élargissant les débouchés possibles, la chimie du bois pourrait également redynamiser certaines filières telles que le sciage de feuillus, dont les coproduits (écorces, sciures) deviendraient une nouvelle source de matière première pour la xylochimie.

Et maintenant ?

Au niveau mondial, la chimie du bois est une filière en plein essor, vers laquelle se tournent désormais aussi bien les industriels de la chimie que ceux du bois. Chez nous, au sein de cette « chimie du bois », le développement d'une filière des extractibles forestiers issus des coproduits de l'industrie du bois semble la voie de développement la plus pertinente à envisager et à étudier.

Encore faut-il pouvoir établir la faisabilité de l'émergence d'une telle filière wallonne. Quels sont les flux de coproduits mobilisables ? En quelles quantités ? Pour quelles molécules d'intérêts ? La demande est-elle au rendez-vous ? Existe-t-il une place sur le marché pour cette filière ? Autant de questions que se posent – aussi – nos voisins français. Ceux-ci travaillent déjà, au sein du projet *ExtraForEst*³ pour « Extractibles forestiers de l'Est », à la mise en place d'un outil d'aide à la décision sur la faisabilité de l'émergence d'une telle filière. ValBiom a d'ailleurs organisé en mars une première rencontre entre les acteurs français et wallons, désireux d'en savoir plus.

POINTS-CLEFS

- ▶ La chimie du bois est en plein essor et attire particulièrement l'industrie papetière. Celle-ci prévoit d'ailleurs en Europe une croissance de 3,5 milliards d'euros pour les produits biobasés issus de la filière papetière d'ici 2050 par rapport à 2010.
- ▶ En Wallonie, la chimie du bois possède déjà de bons atouts pour se développer : une logistique d'approvisionnement bien en place, des infrastructures de qualité, du personnel qualifié (solides compétences dans le domaine), une capacité d'investissements...
- ▶ Il est peu probable de voir se développer une « chimie lourde » issue du bioraffinage du bois en Wallonie. En revanche, un potentiel de développement existe pour une filière chimie du bois de type « chimie fine », autour des extractibles forestiers.
- ▶ Les extractibles sont particulièrement présents dans les coproduits les moins valorisés de l'industrie du bois (écorces, nœuds, feuilles et aiguilles).
- ▶ L'extraction forestière basée sur les coproduits ne détournerait pas ces flux de connexes de leurs usages actuels. Elle pourrait donc s'intégrer de manière harmonieuse dans la filière bois d'aujourd'hui.

Une certitude : tous ont démontré leur intérêt pour le sujet et souhaitent étudier la faisabilité du développement d'une filière des extractibles forestiers en Wallonie. ■

Bibliographie

- ¹ **Stevanovic T., Perrin D.** (2017). *Chimie du bois*. Presses polytechniques et universitaires romandes, 256 p.
- ² **ValBiom** (2018). *labiomasseenwallonie.be* 
- ³ **ValBiom** (2018). France : « EXTRA FOR EST » booste le développement de la chimie du bois. *valbiomag.labiomasseenwallonie.be/news/france-extra-est-booste-le-developpement-de-la-chimie-du-bois* 
- ⁴ **Wertz J.-L., Deleu M., Coppée S., Richel A.** (2017). *Hemicelluloses and Lignin in Biorefineries*. CRC press, 308 p.

Crédits photos. Valbiom (p. 13, 16, 17 et 18), Forêt.Nature (p. 19).

Pierre-Louis Bombeck

pl.bombeck@valbiom.be

ValBiom, chef de projet bois-énergie et chimie du bois
Chaussée de Namur 146 | B-5030 Gembloux