



LE BOIS PERMET BIEN PLUS

RÉSUMÉ DU PROGRAMME

Programme national de recherche PNR 66 **Ressource bois**

Pieter Poldervaart et le comité de direction PNR 66

Les résultats et recommandations du PNR 66 sont publiés dans quatre rapports qui font écho à chacune des synthèses partielles.

Le comité de direction du PNR 66 a partagé le domaine de recherche en quatre plates-formes de dialogue thématiques. Celles-ci portent sur les principaux domaines de la chaîne de valeur forêt-bois et englobent respectivement entre 4 et 11 projets de recherche sur les 30 projets du PNR 66. Dans le cadre du PNR 66, près de 200 représentantes et représentants des milieux économiques, des associations et des autorités ont participé aux 17 dialogues organisés par les équipes de recherche.

Les quatre synthèses partielles rendent compte des projets de recherche et de leurs principaux résultats ainsi que du dialogue mené avec les acteurs de terrain.

- Synthèse de la plate-forme de dialogue « Avancées dans la construction en bois »
- Synthèse de la plate-forme de dialogue « Nouvelles voies dans le bioraffinage du bois »
- Synthèse de la plate-forme de dialogue « Innovations dans les matériaux à base de bois »
- Synthèse de la plate-forme de dialogue « Approvisionnement et utilisation durable du bois »

Fondé sur les quatre synthèses partielles, le résumé du programme rend compte des principaux résultats et recommandations du PNR 66 dans une forme aisément accessible.

TABLE DES MATIÈRES

5	Éditorial
6	Résumé
7	Situation initiale
9	Les objectifs du PNR66
10	Objectifs et résultats des plates-formes de dialogue
16	Résultats du PNR66
18	Bilan du PNR66
20	Recommandations du PNR66
21	Les projets du PNR66

ÉDITORIAL



Forêts, bâtiments, mobilier ou production de chaleur – le bois est omniprésent en Suisse. Composée de cellulose et de lignine, cette ressource renouvelable possède un potentiel qui va bien au-delà de ses fonctions habituelles en tant que cadre de détente, décoration intérieure ou combustible. C'est afin d'explorer ce potentiel que le PNR 66 a été lancé en 2010. Depuis, les résultats des 30 projets de recherche et les nombreuses rencontres de dialogue n'ont fait que confirmer ce postulat.

Le bois n'est pas uniquement voué à être transformé en planches et en poutres. Bien au contraire, toutes ses composantes se prêtent à de multiples utilisations matérielles. Le secteur du bâtiment est évidemment toujours le premier concerné quand il s'agit des possibilités d'application offertes par les nouveaux matériaux de construction à base de bois. Il n'en demeure pas moins que ces nouveaux matériaux, produits et réactifs ouvrent aussi des opportunités sans précédent aux industries chimique, automobile et médicale. Le bois a de quoi devenir le pétrole du XXI^e siècle.

Mais alors, comment s'assurer que toutes ces applications prometteuses soient transposées de la recherche à la production et augmentent la valeur ajoutée du bois? Jusqu'à la fin des années 90, les autorités ont surtout soutenu l'économie forestière et la filière bois dans la perspective d'améliorer l'approvisionnement. Il s'agit désormais de s'appuyer sur des produits innovants afin de dynamiser la demande issue d'industries parfois balbutiantes. À l'avenir, cet essor doit permettre d'exploiter le bois en quantités plus importantes et de le transformer de façon rentable et compétitive. La direction du programme considère que deux centres d'innovation déterminants pourraient accentuer cet appel d'air: un «centre de compétence pour le bioraffinage» et un «centre de recherche et développement Innovations Bois Suisse».

Le PNR 66 a par ailleurs permis d'élaborer des instruments permettant d'utiliser le bois dans de nouvelles applications, en ménageant à la fois les coûts et l'environnement. De la même manière, il a été démontré qu'une exploitation forestière plus intensive, mais raisonnée, était compatible avec les objectifs de biodiversité et les autres services écosystémiques de la forêt.

Qu'en est-il du bois de chauffage? Dans le cadre de la stratégie énergétique 2050, le bois doit jouer le rôle essentiel qui lui est dévolu. Sa valorisation énergétique devrait toutefois être précédée d'une utilisation aussi longue que possible. Et ce qui est fabuleux, justement, c'est que le bois se prête à de multiples applications tout en protégeant le climat: les produits qui en sont dérivés stockent du CO₂ pendant leur utilisation et peuvent encore servir à produire une énergie climatiquement neutre à la fin de leur cycle de vie.

Je tiens à remercier chaleureusement toutes celles et ceux qui ont pris part aux travaux de recherche, aux rencontres de dialogue ainsi qu'à l'élaboration des rapports de synthèse et du présent résumé de programme.

Dr Martin Riediker

Président du comité de direction du PNR 66 Ressource bois

RÉSUMÉ

Le bois est de loin la matière première renouvelable prédominante en Suisse. Utilisé pendant des siècles pour la construction et le chauffage, il a toutefois perdu de son importance avec l'avènement des ressources fossiles et l'utilisation de plus en plus répandue de matériaux tels que le béton, l'acier et le plastique.

Depuis une vingtaine d'années, cette ressource naturelle revient cependant sur le devant de la scène. Dans le secteur du bâtiment, le bois fait de plus en plus souvent figure de matériau novateur. Grâce aux techniques d'ingénierie et de protection contre les incendies, il est même désormais possible de construire de grands immeubles en bois. Des produits dérivés innovants redonnent en outre un nouveau souffle à l'industrie du meuble, car ils permettent de fabriquer des panneaux plus légers en faisant appel à des systèmes de collage qui n'entraînent pas d'émissions nocives de formaldéhyde. Dans les bioraffineries, le bois peut également servir de matière première biogène afin d'élaborer des produits chimiques et de produire de l'énergie, et éviter ainsi d'avoir recours au pétrole et au gaz naturel. Enfin, le bois est le seul combustible renouvelable qui peut être stocké directement.

Le vaste potentiel du bois est bien connu, mais il reste encore beaucoup de chemin à parcourir avant que de nouvelles technologies n'atteignent le stade de l'application et que les produits correspondants soient commercialisables. Le PNR66 Ressource bois s'était donc donné pour objectif de faire progresser 30 projets interdisciplinaires axés sur la valorisation économique et écologique du bois dans quatre domaines de recherche. Signe évident qu'elles se sont étroitement adaptées aux besoins du marché, ces recherches ont dans certains cas déjà débouché sur la création de start-ups. L'avenir dira si ces produits innovants seront un jour effectivement fabriqués en Suisse ou si l'industrie se limitera à en développer la technologie pour l'exporter ensuite. Dans un cas comme dans l'autre, les projets de recherche du PNR66 auront contribué à améliorer la compétitivité de l'économie forestière et de la filière bois suisses. De plus, leurs techniques et produits novateurs soutiennent le développement durable en réduisant la dépendance de

la Suisse vis-à-vis du pétrole. Sans oublier bien sûr, qu'ils peuvent contribuer à sécuriser des emplois, voire à en créer de nouveaux, dans des domaines tels que le bâtiment, la production d'emballages et les industries des machines, pharmaceutique et chimique.

Le PNR66 regroupait également des projets de recherche portant sur la disponibilité du bois. En Suisse, si la surface forestière s'étend depuis des années, la forêt protectrice en occupe la moitié et elle est soumise à des conditions d'exploitation spécifiques. Dans les régions proches des agglomérations, les amateurs de sport et de détente sont de plus en plus nombreux à se rendre en forêt. Enfin, cette réserve de bois constitue un biotope essentiel pour une faune et une flore très variées. D'ici 2030, la Confédération et les cantons prévoient de classer 10% de la surface forestière suisse en réserve naturelle et de la préserver ainsi de toute exploitation commerciale. Parallèlement, la production de la matière première qu'est le bois n'en continue pas moins de jouer un rôle essentiel en Suisse.

Lorsque l'on envisage une exploitation accrue du bois comme celle proposée par le PNR66, il importe donc de prendre en compte les trois dimensions de la durabilité : économie, écologie et société. Ce n'est qu'à cette condition que la mise en valeur intelligente et innovante de nouvelles utilisations du bois pourra contribuer à dynamiser l'économie suisse de manière déterminante, en l'occurrence, dans le secteur des matériaux innovants, du génie civil et de l'approvisionnement en énergie.

Des étudiants réunis lors des universités d'été

Dans le cadre du PNR 66, plus de 200 scientifiques de 25 pays ont travaillé sur 30 projets différents. Les deux universités d'été de 2013 et 2014 ont permis aux chercheuses et chercheurs, et aux étudiantes et étudiants participant au programme, de tisser des liens et d'établir des réseaux, mais aussi d'élargir leurs connaissances et compétences.

SITUATION INITIALE

Bien des économies se trouvent face à une raréfaction des ressources dont la forte hausse des prix de l'énergie et l'augmentation du cours des matières premières sont symptomatiques. Cela s'explique, d'une part, par la forte croissance économique des grands pays émergents comme la Chine et l'Inde et, de l'autre, par l'insatiable appétit énergétique et matériel dont font montre les pays développés. L'époque des ressources facilement exploitables sans investissements lourds arrive par ailleurs à sa fin. Au niveau actuel d'extraction pétrolière, le temps du «pétrole facile» est bel et bien révolu. Parallèlement, les problèmes liés au changement climatique commencent à se faire nettement ressentir. Cette coévolution – raréfaction des ressources et changement climatique – met à mal le développement économique dans le monde entier et menace la sécurité régionale et internationale. C'est la raison pour laquelle scientifiques, économistes et décideurs politiques recherchent des solutions fiables qui s'orientent principalement le long de trois axes :

- économiser les ressources – non renouvelables pour la plupart – utilisées jusqu'ici;
- augmenter la part des ressources renouvelables;
- améliorer l'efficacité des processus conventionnels de création de valeur.

Le PNR66 vise principalement à contribuer à la réalisation de ce deuxième axe et s'inscrit pour ce faire dans un contexte diversifié où prédominent trois domaines et leurs acteurs :

Disponibilité du bois et approvisionnement

La forêt suisse et le bois qu'elle fournit pour la construction ou la production d'énergie bénéficient d'une **excellente image**. Cet état de fait peut favoriser la mise sur le marché de nouveaux produits à base de bois et contribuer à compenser les coûts supplémentaires inhérents à la topographie spécifique de la Suisse et aux régimes particuliers de propriété. Certains obstacles freinent toutefois une mobilisation plus intensive du bois suisse. Dans notre pays, les **propriétés forestières sont généralement de petite taille** et de nombreux propriétaires ne cherchent pas à en tirer un pro-

fit économique, si bien que de précieuses surfaces forestières restent partiellement inexploitées. Par ailleurs, **la dispersion géographique** du bois peut aussi bien représenter un atout qu'un inconvénient. Le transport de quantités réduites sur de faibles distances ne pose pas de problème. À l'inverse, la logistique devient un facteur de coût déterminant lorsque d'importants volumes de bois doivent être acheminés à un endroit déterminé. Dans une certaine mesure, cette dispersion limite également l'utilisation dite en cascade qui est préconisée du fait de sa rationalité. Dans de nombreuses régions, les volumes exploités pourraient être élargis. Sur le plateau, c'est surtout le morcellement des propriétés et les **conflits d'utilisation avec les personnes en quête de détente en plein air** et les sportifs qui posent problème. Dans les régions montagneuses, où de nombreuses forêts ont une fonction protectrice, les coûts d'exploitation sont souvent si élevés que la vente du bois ne les couvre pas. Seul le nécessaire **entretien de la forêt protectrice** entraîne une exploitation du bois. Par ailleurs, le **changement climatique** affecte aussi la composition de la forêt. Jusqu'alors principalement utilisés comme bois de chauffage, les feuillus prennent le pas sur les résineux, qui étaient traditionnellement considérés comme les essences de rendement de la filière bois et du bâtiment. Comme le démontre le programme de recherche «Forêt et changements climatiques» 2016, cette évolution risque fort de s'intensifier dans les années à venir, d'autant qu'une gestion de la forêt plus proche de la nature tend de plus en plus à s'imposer.

Création de valeur commerciale et industrielle

En Suisse, les **coûts de production élevés** de l'économie forestière et de la filière bois réduisent leur compétitivité face aux importations. Depuis l'abandon du taux plancher franc/euro, le bois suisse a encore enchéri par rapport aux bois d'importation et les perspectives d'exportation des produits transformés ont parallèlement continué à se dégrader. Divers autres facteurs influent également sur l'utilisation industrielle du bois suisse. Dans les domaines où le bois et les produits à base de bois sont en concurrence avec les dérivés du

pétrole (énergie, acier, matières synthétiques, produits chimiques), le cours du baril exerce évidemment une influence déterminante: une **baisse de son prix** réduit l'attractivité du bois et freine les investissements.

Conditions juridiques et politiques

Dans le bâtiment, les nouvelles réglementations en matière d'incendie sont favorables au bois. Depuis quelques années, elles autorisent aussi son utilisation comme matériau de construction pour les ouvrages de plusieurs étages et toutes les structures porteuses. Dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050, le bois occupe une place centrale pour la production de chaleur et gagnera encore en importance dans les années à venir. En s'appuyant sur ces conditions-cadres, il importe par conséquent que l'économie forestière et la filière bois, ainsi que d'autres secteurs éventuels, posent des jalons pour l'avenir. De nouvelles approches s'avèrent nécessaires pour exploiter les ressources forestières de façon écologique et efficace tout en assurant une bonne compétitivité sur le plan international. Des voies innovantes correspondant à cette vision se dégagent ainsi des divers projets du PNR66. Il s'agit maintenant de les intégrer aux stratégies et programmes existants, comme la Politique forestière 2020 de la Confédération, les politiques en matière de ressources et notamment

le Plan d'action bois, le Swiss Wood Innovation Network (S-WIN), la Stratégie énergétique 2050 et la Politique intégrée des produits (PIP).

Augmentation des réserves forestières – possibilités d'utilisation accrue

Intégré à la plate-forme de dialogue « Approvisionnement et utilisation durable du bois », le projet « MOBSTRAT: stratégies de mobilisation du bois issu des forêts suisses » révèle qu'en Suisse, l'utilisation du bois évite chaque année l'émission de 2,2 millions de tonnes de CO₂. Il se substitue en effet à des matériaux énergivores comme l'acier et le béton, et à des combustibles comme le pétrole. À cela s'ajoutent les quelque 2,5 millions de tonnes de CO₂ qui ont en moyenne été stockés au cours des dix dernières années par les arbres vivants et les produits dérivés du bois. Sur les 4,9 millions de mètres cubes de bois récoltés en 2014, 37% ont servi de bois-énergie et 11% de bois d'industrie, principalement pour la fabrication de papier et de panneaux. La majeure partie (52%) a été utilisée par le secteur de la construction et pour la fabrication de meubles et de matériaux d'emballage. Le vaste potentiel offert par le bois suisse est néanmoins loin d'être épuisé. Si l'accroissement des réserves était mieux mis à profit, les économies de CO₂ pourraient augmenter d'environ un tiers par rapport aux chiffres actuels et atteindre ainsi jusqu'à 0,9 million de tonnes supplémentaires.



Les participantes et participants à l'Université d'été 2014 du PNR 66 ont visité la firme Holz Trub AG dans la région du Napf.

LES OBJECTIFS DU PNR 66

En Suisse, le bois est d'ores et déjà utilisé à grande échelle dans la construction et la production d'énergie. Le PNR66 Ressource bois avait pour objectif d'élargir le champ des possibilités en matière de construction en bois, de créer les bases d'une bioraffinerie du bois et de promouvoir le développement de matériaux innovants dérivés du bois. Ces différentes perspectives requièrent une optimisation des stratégies d'approvisionnement durable en bois.

Le PNR66 pose des bases scientifiques et propose des solutions pratiques en vue d'une meilleure disponibilité et d'une utilisation élargie de la ressource renouvelable qu'est le bois. Les objectifs poursuivis sont les suivants :

- Avancées dans la construction en bois : accroître l'attractivité du bois pour la réalisation de bâtiments et de structures porteuses grâce à des processus de fabrication compétitifs et à des propriétés matérielles améliorées par de nouvelles technologies.
- Nouvelles voies dans le bioraffinage du bois : bases scientifiques et techniques en vue de l'utilisation industrielle de la biomasse bois dans la fabrication de produits chimiques et de carburants.
- Matériaux innovants à base de bois : mise au point de nouveaux matériaux présentant d'excellentes propriétés et élaboration de techniques adaptées à leur fabrication et utilisation industrielles.
- Approvisionnement et utilisation durable du bois : compréhension approfondie des flux de matières basées sur le bois et du marché suisse du bois dans la perspective d'une meilleure disponibilité et d'une utilisation durable.

Le PNR66 a, ce faisant, contribué à développer des capacités de recherche et un savoir-faire spécifiques en Suisse, à susciter des élans d'innovation dans l'économie et à favoriser la création de valeur à partir du bois ainsi que la compétitivité de l'industrie suisse.

Les 30 projets de recherche sélectionnés reflètent ainsi la vaste palette de nouvelles solutions d'utilisation offertes par le bois dans les secteurs de la chimie, de la technique des matériaux, du bâtiment et de l'énergie. Les thèmes transversaux que sont la disponibilité du bois brut et les flux de matières basées sur le bois ont respectivement fait l'objet de recherches dans la perspective d'une optimisation du cycle de vie du bois.

Les 30 projets du PNR66 ont été répartis en quatre champs thématiques. Une plate-forme de dialogue était dédiée à chaque thème et permettait de débattre des attentes et des évaluations des acteurs concernés à l'occasion d'ateliers organisés à cet effet. Ces réflexions ont alimenté les quatre synthèses partielles et sont présentées en détail sur le site Internet www.pnr66.ch.

OBJECTIFS ET RÉSULTATS DES PLATES-FORMES DE DIALOGUE

À travers ses 30 projets de recherche regroupés sous quatre plates-formes de dialogue, le PNR 66 a livré de nombreux résultats qui peuvent pour la plupart trouver une application directe dans les nouvelles technologies et, ce faisant, renforcer l'utilisation industrielle du bois. Les autres enseignements consolident les connaissances en vue de mettre en place des chaînes d'approvisionnement durables du bois.

Compte tenu de la situation initiale, les divers projets avaient vocation à étudier les problématiques découlant des objectifs spécifiques des quatre plates-formes de dialogue.

« Avancées dans la construction en bois » (PD 1)

Les projets de recherche s'inscrivant dans ce champ thématique poursuivaient les **objectifs** suivants :

- accroître l'attractivité de l'emploi du bois dans la construction;
- démontrer les avantages des bâtiments en bois sur le plan de la durabilité;
- poser les bases d'une utilisation accrue du bois de feuillus (hêtre en particulier) comme matériau de construction;
- améliorer les propriétés acoustiques et la sécurité sismique des bâtiments en bois;
- améliorer et fiabiliser les propriétés matérielles du bois grâce aux nouvelles technologies de modification du bois;
- mettre au point des matériaux de construction et assemblages à base de bois;
- accroître la compétitivité des processus de fabrication dans la construction en bois;
- industrialiser et numériser les processus de fabrication/construction;

- poser les bases nécessaires à l'élaboration d'assemblages collés et de technologies alternatives d'assemblage;
- mettre au point de nouvelles technologies en vue d'optimiser la surface des façades en bois.

Résultats

Au cours des 20 dernières années, la construction en bois a évolué d'un marché de niche vers un secteur économique important. Elle est désormais en passe de se généraliser et de rivaliser avec les autres modes de construction. Les projets de recherche de cette plate-forme de dialogue ont mis en exergue comment diverses innovations en matière de planification, de construction et de développement de produit peuvent soutenir cette évolution. Dans plusieurs cas, ces nouvelles techniques sont d'ores et déjà commercialisées.

Analyses du cycle de vie. Elles montrent qu'il est souhaitable de remplacer les matériaux de construction énergivores par des éléments à base de bois. Une utilisation durable du bois dans les bâtiments et structures porteuses, suivie d'une valorisation matérielle ou énergétique ultérieure, permet d'absorber le dioxyde de carbone et de réduire les émissions inhérentes à la production de matériaux.

Pronostic de vieillissement. Un nouveau modèle permet d'identifier les modifications de propriétés de divers systèmes de collages et d'essences de feuillus en fonction de la température et du taux d'humidité, et de prévoir le vieillissement des éléments de construction sur plusieurs décennies. Il s'agit d'une condition pour l'amélioration de la sécurité structurale, mais aussi pour l'utilisation accrue du bois de feuillus dans la construction.

Collage innovant du bois. Les expériences réalisées avec trois types de colles (résine époxy, polyuréthane et résine acrylique) et un modèle déduit de ces expériences permettent désormais de mieux décrire le comportement sous contrainte des assemblages collés bois-bois. Cela leur confère des avantages supplémentaires par rapport aux assemblages mécaniques et améliore globalement la compétitivité de la construction en bois.

Construire avec le bois de hêtre. Les nouvelles bases de dimensionnement développées dans le cadre du PNR66 permettent une utilisation commerciale et sécurisée du hêtre pour les structures en bois. Une ossature en bois de feuillus ainsi qu'un tout nouveau type de plancher composite en hêtre et béton ont pour la première fois pu être utilisés pour la construction de la «House of Natural Resources» de l'EPF Zurich.

Optimiser les planchers en bois. Un nouveau type de plancher multifonctionnel en bois de hêtre lamellé tourillonné, mis au point pour la construction d'immeubles d'habitation ou de bureaux, présente des propriétés acoustiques comparables à celles des dalles en béton armé quant aux bruits de chocs dans les basses fréquences. L'épaisseur des planchers en bois a parallèlement pu être réduite tout en respectant les normes en vigueur.

Stabiliser les structures en bois. Des découvertes, réalisées notamment à la suite de tests de vibration sur une construction de plusieurs étages à ossature bois, ont permis d'optimiser le dimensionnement des éléments de renforcement afin d'accroître leur résistance aux séismes et vents forts, ce qui améliore la sécurité et la fiabilité structurelles des constructions en bois de plusieurs étages.

Combiner le bois et le béton. Les nouvelles formules de béton de bois allégé comportant jusqu'à 50% de bois, et les tests de sollicitation correspondants, prouvent que ce matériau convient tout à fait aux éléments porteurs horizontaux et verticaux. Les bétons de bois légers présentent de bonnes propriétés intégrées d'isolation phonique, thermique et de

protection incendie, conservent bien la chaleur et peuvent être incinéré à la fin de leur cycle de vie.

Montage industriel d'éléments en bois. De nouveaux processus d'assemblage et de construction robotisés permettent désormais de bâtir des structures complexes à partir d'éléments simples en bois. D'autres progrès réalisés au niveau des assemblages collés ouvrent la voie à de multiples utilisations, en particulier pour les ouvrages de forme libre et les structures porteuses réticulaires.

Améliorer la résistance des façades. Dans l'optique d'une optimisation des façades en bois, les travaux de recherche aussi bien théoriques que pratiques prouvent qu'un traitement préalable, ciblé et non polluant, améliore considérablement la résistance aux rayonnements UV et la stabilité des surfaces en bois. Ces propriétés favorisent la compétitivité des façades et des systèmes d'isolation extérieure en bois.

Conclusion

En Suisse, la construction en bois a majoritairement le vent en poupe. Ce secteur est **le premier consommateur de bois dans le pays**. Les analyses de cycle de vie montrent par ailleurs que la construction en bois et, d'une manière générale, l'utilisation plus intensive de cette matière première renouvelable comme **matériau de construction sont souhaitables pour la préservation des ressources et du climat**. Les projets du PNR66 ont servi de tremplins vers de futures activités de recherche et de développement, mais aussi vers des solutions pratiques correspondant à tous les objectifs des «Avancées dans la construction en bois». **Les défis actuels que l'industrialisation et la numérisation posent au secteur de la construction en bois et de la planification** sont pris en compte par les acteurs de la recherche et de l'économie dans toute une série de projets en cours.

«Nouvelles voies dans le bioraffinage du bois» (PD 2)

Les projets de recherche de ce champ thématique poursuivaient les **objectifs** suivants :

- développer le savoir-faire et les technologies débouchant sur de nouvelles utilisations chimiques de la biomasse bois ;
- élaborer de meilleures bases de connaissances dans l'optique d'une transformation industrielle et d'une utilisation aussi complète que possible du bois dans des bioraffineries ;

- identifier et perfectionner les chaînes de processus;
- mettre au point des technologies permettant d'exploiter le bois pour la fabrication de produits chimiques et de vecteurs énergétiques stockables (gaz/carburants)
- développer des technologies de combustion plus efficace du bois;
- mettre en place des outils d'évaluation écologique et économique des avantages et des inconvénients, ainsi que du rapport coût-bénéfice des diverses options de valorisation.

Résultats

Le bioraffinage du bois n'en est encore qu'à ses balbutiements en Suisse. Les projets étaient par conséquent consacrés à des étapes spécifiques de ce processus. Les avancées réalisées concernent le traitement préalable du bois, la décomposition physique et chimique de ses composants, l'exploitation optimisée des produits chimiques souhaités et la production d'énergie à partir du bois. Un projet central a finalement débouché sur le développement d'un outil de comparaison multicritère des divers concepts de bioraffinage qui permet d'estimer leur compétitivité aussi bien économique qu'écologique.

Vers une meilleure utilisation du bois comme matériau (chimie)

Optimiser la saccharification de la cellulose. L'ajout d'un produit chimique spécifique lors du traitement à l'eau chaude améliore le rendement de la saccharification de la cellulose.

Combiner les processus de transformation. L'association de deux processus de transformation, l'un enzymatique et l'autre chimique, constitue un progrès dans la fabrication de produits chimiques à partir du bois.

Perfectionner le procédé de catalyse. De nouveaux procédés de catalyse élargissent les possibilités de transformation ciblée de la cellulose et de la lignine en produits chimiques.

Rendement accru en vanilline. Les découvertes portant sur la décomposition chimique de la lignine permettent d'atteindre un rendement en vanilline nettement plus important.

Poser les bases de l'élaboration de protéines artificielles. La biocatalyse est une technologie essentielle à une meilleure utilisation de la substance du bois. Les équipes de recherche ont découvert un

nouveau mécanisme par lequel des enzymes activent de l'oxygène moléculaire pour ensuite l'utiliser lors du clivage des liaisons chimiques.

Saccharification et fermentation simultanées.

La fermentation du bois de hêtre a été optimisée de façon à dégrader la lignine lors d'une fermentation et d'une saccharification simultanées, ce qui accroît le rendement en éthanol.

Optimiser le traitement du bois. Dans le cadre du prétraitement du bois de résineux à la vapeur, il a été observé qu'une baisse de pression ciblée permettait de multiplier par deux le rendement de la saccharification enzymatique.

Améliorer l'utilisation du bois comme source d'énergie

Réduction des émissions de polluants. L'amélioration technique des chaudières à grille permet de brûler du bois de qualité inférieure tout en minimisant les émissions d'oxyde d'azote et en assurant une bonne stabilité de fonctionnement.

Une technologie d'épuration plus efficace. Des méthodes d'analyse perfectionnées permettent le développement d'agents de sorption pour l'épuration des gaz de synthèse issus du bois.

Modélisation d'un réacteur de méthanation.

La mise au point d'un modèle informatique précis simulant un réacteur de méthanation à lit fluidisé permet d'envisager une transposition à plus grande échelle.

Générer de l'hydrogène de grande pureté. Un procédé novateur à base d'oxyde de fer permet de générer au moyen de vapeur d'eau de l'hydrogène de grande pureté à partir de gaz de synthèse.

Un outil de planification et d'évaluation pour le développement d'une bioraffinerie

Mise en place d'un instrument décisionnel. Une plate-forme informatique permet de concevoir différents types de bioraffineries et d'évaluer la performance énergétique, économique et écologique de chaque procédé.

Conclusion

Les résultats des projets de recherche du PNR mettent en évidence que le bois offre, au-delà de la construction et de la combustion, **un fort potentiel de valorisation**. Dans toute leur diversité, les

projets de recherche du PNR66 posent les jalons nécessaires aux processus novateurs et optimisés d'un bioraffinage fondé sur le bois. Certains résultats démontrent par ailleurs **que le bois de feuillus se prête également à une valorisation chimique en bioraffinerie.**

La recherche et le développement de nouvelles technologies de transformation du bois représentent **pour l'économie suisse une excellente opportunité** de s'assurer un leadership technologique, de créer des emplois dans le pays et d'exporter des techniques innovantes. Les progrès réalisés grâce au PNR contribuent à ce que nombre de produits jusqu'alors fabriqués à partir de pétrole puissent à l'avenir être issus du bois.

« Innovations dans les matériaux à base de bois » (PD 3)

Les projets de recherche de ce champ thématique poursuivaient les **objectifs** suivants :

- étendre l'utilisation du bois à des applications de qualité supérieure, mettre au point des procédés techniques efficaces et intégrer l'utilisation en cascade;
- faire évoluer la modification du bois, grâce à des profils de propriétés améliorés, à une protection durable des surfaces en bois contre les rayonnements UV et les intempéries et au développement d'agents de conservation du bois non polluants;
- élaborer des matériaux innovants avec des composants à base de bois, à travers l'utilisation novatrice de la nanocellulose et le recours à de nouvelles méthodes de transformation;
- mettre au point des colles à base de bois et des matériaux hybrides bois-biopolymère dont les propriétés augmentent la valeur.

Résultats

Les innovations dans le domaine des matériaux reposent pour la plupart sur des modifications de la substance du bois et font désormais surtout appel aux micro- et nanotechnologies. La Suisse est bien placée pour contribuer à ces avancées technologiques globales dans le développement des matériaux. On peut d'ores et déjà prévoir que ces innovations seront mises en pratique dans la construction en bois, même si leur potentiel dépasse largement ce secteur.

Innovations dans la protection du bois. De nouvelles bases scientifiques permettent de concevoir des agents de protection à base de nanoparticules

en vue d'une application commerciale en particulier dans les secteurs du bâtiment et du génie civil.

Améliorer les propriétés du bois. Les techniques de modification confèrent au bois de nouvelles propriétés optimisées. Leur potentiel d'utilisation concerne le domaine des aménagements intérieurs haut de gamme.

Meilleure protection des façades en bois. De nouvelles découvertes devraient permettre de développer une protection des façades contre les intempéries basée sur la délignification préalable des surfaces.

Optimisation des surfaces en bois. De nouvelles approches visent à perfectionner la fonctionnalité des surfaces en bois grâce à une activation photochimique, notamment pour les revêtements extérieurs et les matériaux hybrides.

Processus de fabrication de panneaux ultralégers en aggloméré. De premières avancées ont été réalisées dans la fabrication de panneaux biobasés ultralégers en aggloméré.

Développement de la production de tanins. Une nouvelle méthode a été développée dans le but d'utiliser les tanins contenus dans l'écorce des résineux suisses afin de produire des composants adhésifs pour les panneaux en fibres et en aggloméré.

Optimisation de la protection contre les UV. De nouvelles découvertes élargissent les connaissances relatives à la protection contre les UV offerte par les nanofibrilles de cellulose en tant qu'additif ajouté aux revêtements.

Amélioration de la production de nanocomposites. L'optimisation du processus de transformation utilisé afin de produire des nanocomposites à base de cellulose ouvre la voie à une amélioration des propriétés de ces produits.

Conclusion

Dans le domaine **de la modification du bois et des surfaces**, les chercheurs ont développé des approches pour une utilisation à haute valeur ajoutée du bois. **Des progrès demeurent néanmoins nécessaires, surtout en matière de technique des processus**, pour qu'une application à l'échelle industrielle puisse être envisagée.

En ce qui concerne les matériaux innovants à base de bois, les recherches mettent en évidence le vaste

potentiel des nanofibrilles de cellulose. Les premières étapes menant à une **application industrielle ont déjà été initiées.** Le groupe WICOR de Rapperswil poursuit actuellement la première phase de développement d'une nouvelle usine de fibres naturelles destinée à la production de nanofibrilles de cellulose.

Dans le domaine des **panneaux en bois**, les recherches menées en collaboration avec de grands fabricants portaient sur des systèmes de colle et de mousse biobasés. Cette coopération fructueuse **devrait combler rapidement les lacunes technologiques.**

« Approvisionnement et utilisation durable du bois » (PD4)

Les projets de recherche s'inscrivant dans ce champ thématique poursuivaient les **objectifs** suivants :

- mieux comprendre le marché du bois;
- analyser les processus de coopération entre partenaires commerciaux;
- mettre à disposition des outils décisionnels pour une gestion durable de la ressource bois;
- améliorer la disponibilité du bois brut en quantités et qualités adéquates;
- évaluer de manière globale les nouvelles technologies de valorisation du bois.

Résultats

Les projets ont apporté de nouvelles connaissances sur les volumes supplémentaires pouvant être extraits des forêts suisses, les facteurs influençant cette mobilisation et les incitations pouvant mener à une disponibilité accrue. Les travaux réalisés ont également permis de clarifier l'importance que l'utilisation en cascade du bois, si fréquemment requise, peut réellement revêtir. Enfin, les recherches ont débouché sur un ensemble de recommandations qui pourraient à l'avenir favoriser l'approvisionnement centralisé et à qualité constante du marché en assortiments de bois spécifiques.

Marché suisse du bois analysé. Les découvertes actuelles fournissent non seulement des informations sur l'offre et la demande sur le marché suisse du bois, mais aussi sur la valeur que les services écosystémiques fournis par la forêt revêtent aux yeux de la population.

Effets d'une utilisation plus intensive du bois analysés. De nouveaux scénarios d'exploitation sylvicole permettent d'évaluer plus précisément les

effets à long terme qu'une utilisation accrue du bois exercerait sur les volumes d'exploitation, la croissance des forêts et leurs services écosystémiques.

Disponibilité future du bois. Un nouveau modèle basé sur des agents permet aux décideurs de simuler des scénarios concernant la future disponibilité du bois et d'identifier plus précisément l'impact d'instruments économiques.

Cycle de vie analysé. L'observation systématique de l'ensemble du cycle de vie du bois offre une nouvelle base de décision à la politique et à l'économie et, en particulier, à la filière du bâtiment.

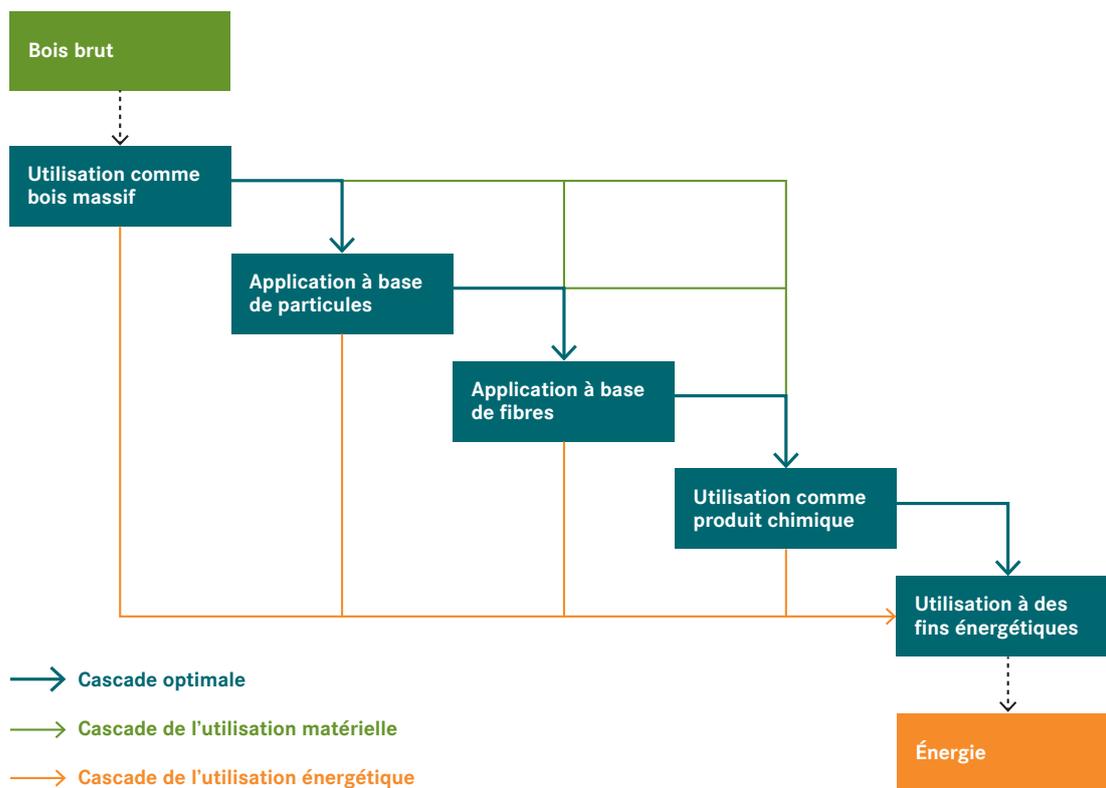
Conclusion

L'utilisation du bois, plus particulièrement dans la construction, **présente** de manière générale **des avantages écologiques considérables.** Son utilisation élargie serait compatible avec d'autres fonctions importantes de la forêt telles que la biodiversité et les loisirs. Néanmoins, dans la mesure où la propriété et l'exploitation des forêts reposent sur de très petites entités en Suisse, il serait préalablement nécessaire d'étendre les surfaces d'exploitation ou de privilégier des unités d'exploitation et des domaines forestiers régionaux.

Outre la valorisation des services écosystémiques, des subventions étatiques pourraient être envisagées, notamment pour ces mêmes services écosystémiques. Elles présenteraient néanmoins des risques élevés en termes de persistance des structures et d'effets d'aubaine. **L'essor de la demande de bois (particulièrement en bois de feuillus) par une industrie innovante constitue un moyen bien plus efficace de mobiliser le bois suisse.**

Possibilités d'utilisation en cascade

L'utilisation en cascade désigne les usages successifs et multiples d'un matériau. En principe, le bois peut tout à fait se prêter à ce type d'utilisation. À l'heure actuelle, une partie non négligeable trouve une deuxième vie dans l'industrie des panneaux après avoir servi d'élément de construction ou de pièce de mobilier. La combustion pour la production de chaleur et d'électricité constitue la dernière étape de cette cascade courte. En théorie, une cascade longue est aussi envisageable, auquel cas le bioraffinage remplacerait la combustion et permettrait d'obtenir à la fois des produits chimiques et de l'énergie.



Possibilités de l'utilisation en cascade du bois (Florian Suter, ill. 5 de la synthèse partielle Approvisionnement et utilisation durable du bois)

De nos jours, le parc immobilier suisse comporte 30 millions de tonnes de bois qui seront démontées à moyen ou à long terme et pourront alors servir à d'autres applications. À l'heure actuelle, le vieux bois est valorisé énergétiquement – soit directement dans des installations spécialisées, soit dans des incinérateurs de déchets conventionnels – ou transformé en panneaux d'aggloméré qui finissent également par être incinérés à la fin du cycle de vie des meubles qu'ils ont servi à fabriquer. Un modèle d'évaluation développé dans le cadre du PNR66 permet d'analyser des flux de matériaux et des cycles de vie pour diverses applications du bois. Il montre que l'utilisation en cascade n'entraîne une plus-value écologique que lorsque le bois remplace des matériaux énergivores comme le béton et l'acier en début de cascade, puis connaît une valorisation énergétique optimale en fin de cascade.

Si la cascade d'utilisation courte a aujourd'hui fait ses preuves, la réalisation d'une cascade longue avec applications chimiques exigera de relever les défis suivants :

- Dans le domaine du bioraffinage, le prétraitement des matières constitue un facteur de

coûts absolument déterminant. Or, le bois de récupération est généralement hétérogène, sali et pollué par les peintures, colles et vernis. Sa valorisation se révèle donc plus complexe que l'utilisation de bois récolté dans les forêts. En outre, une bioraffinerie nécessite un approvisionnement continu en matières premières. Or, le vieux bois n'est que ponctuellement disponible, et son prix est susceptible de varier fortement en fonction du marché. Les bioraffinerie devraient néanmoins ouvrir de nouveaux débouchés au vieux bois et prolonger ainsi la cascade d'utilisation.

- La construction tend à favoriser des matériaux de plus en plus hétérogènes, ce qui va encore accroître à terme l'hétérogénéité du bois de récupération.
- Les projets du PNR66 relatifs aux «Innovations dans les matériaux à base de bois» ont confirmé qu'une utilisation en cascade des matériaux ainsi mis au point était possible après leur première phase d'usage. Toutefois, la question de l'utilisation du bois de récupération, en tant que base pour le développement de nouveaux matériaux, n'a pas été abordée.

RÉSULTATS DU PNR66

Les 30 projets du PNR66 et le dialogue approfondi entre acteurs concernés ont produit des résultats couvrant un large spectre, de la recherche fondamentale à l'application pratique. Il est, ce faisant, apparu que le bois offrait un potentiel considérable d'utilisations supplémentaires. Le degré de maturité des techniques s'avère toutefois très variable.

- En ce qui concerne l'approvisionnement et l'utilisation durable du bois, de nouvelles bases décisionnelles permettant d'optimiser son exploitation en Suisse sont désormais à la disposition de la politique, de l'industrie et de l'économie. Des données détaillées ont par ailleurs été recueillies sur le marché du bois et les possibilités d'influencer les différents acteurs concernés. Les équipes de recherche ont également pu prouver qu'une exploitation plus intensive des forêts suisses n'était pas contraire à la préservation de leurs autres fonctions.
- La construction en bois a déjà le vent en poupe. Les découvertes en matière d'isolation phonique, de résistance aux séismes et d'assemblages, ainsi que les progrès réalisés dans le domaine des matériaux (béton de bois allégé, traitement des surfaces, etc.), ouvrent désormais la voie à un emploi élargi du bois (y compris du bois de feuillus) dans les bâtiments et les structures porteuses. Des processus d'assemblage et de construction robotisés permettent en outre d'élaborer des structures complexes à partir d'éléments simples.
- Les projets portant sur le bioraffinage du bois ont également mené à d'importantes découvertes théoriques et pratiques quant aux divers processus de transformation (catalytiques, biochimiques, thermochimiques) et aux nombreux produits (HMF, composés aromatiques, éthanol, méthane, hydrogène, chaleur) pouvant servir aussi bien comme matière première pour des matières synthétiques et des colles que comme énergie. Les équipes de recherche ont aussi élaboré un outil de dimensionnement et d'optimisation destiné à faciliter la conception de bioraffineries exploitant le bois.
- Dans le domaine de la modification du bois, il a été confirmé qu'il existe de nombreuses nouvelles propriétés matérielles pour le bois naturel. Les nouveaux matériaux à base de nanocellulose et les composés hybrides à base de bois ont fait l'objet d'une première mise en œuvre en coopération avec les fabricants.
- Le PNR66 est parvenu à éveiller l'intérêt de groupes de recherche connexes dont les travaux n'étaient jusqu'alors pas axés sur la ressource bois, à créer des réseaux et à former de jeunes chercheuses et chercheurs.
- Plusieurs projets issus du PNR66 ont été poursuivis avec succès au sein d'un projet de coopération avec l'industrie financé par la CTI. Le lancement de start-ups a en outre permis de combler d'importantes lacunes dans la chaîne de création de valeur.
- Les rencontres de dialogue thématiques ont éveillé l'intérêt d'un grand nombre de représentants de l'industrie pour la recherche et l'innovation dans le domaine du bois.



Les premiers résultats des projets sont discutés durant le meeting de 2013.

Développement technologique dans le contexte international

En Suisse, l'offre de matières premières et le projet d'élaboration d'une bioraffinerie sont soumis à une pression des coûts supérieure à celle observée dans d'autres pays. Le franc fort et le niveau élevé des salaires rendent l'importation de bois étrangers économiquement très avantageuse et l'exportation des produits suisses dérivés du bois presque impossible. La filière suisse du bois a commencé dès 2009 à pâtir de la vigueur de la devise nationale. Pendant des dizaines d'années, les bois étrangers et suisses avaient alimenté à part à peu près égale la construction. En 2011, la part de bois suisse ne représentait plus que 37%. Lorsque le taux plancher franc/euro a été abandonné en janvier 2015, le prix du bois étranger a brusquement baissé de 10%. La plate-forme de dialogue « Approvisionnement et utilisation durable du bois » explique pourquoi la filière bois suisse perd continuellement en compétitivité et comment le secteur économique et l'État peuvent renverser la vapeur. Citons dans ce contexte le soutien dont bénéficie actuellement la labellisation du bois suisse et la campagne de sensibilisation « Woodvetia » 2017.

Cependant, les autres nations travaillent aussi à stimuler la valorisation accrue des matières premières renouvelables. Et des facteurs régionaux spécifiques favorisent certaines technologies dans diverses parties du monde. Il existe ainsi des stratégies nationales de bioéconomie qui profitent de soutiens financiers et de dispositions légales avantageuses (Allemagne, Autriche, Pays-Bas, Finlande, États-Unis). En outre, les volumes de matières premières disponibles sont dans bien des endroits nettement supérieurs à ceux de la Suisse dont la superficie est restreinte (bois en Scandinavie, eucalyptus et canne à sucre au

Brésil). Quelques pays disposent également de clusters industriels composés d'acteurs fournissant, transformant et utilisant le bois à grande échelle et d'infrastructures logistiques comme les ports maritimes. D'autres bénéficient d'une grande expérience technologique étayée par une forte industrie de la cellulose, ce qui facilite nettement la transposition en applications pratiques des projets pilotes (Allemagne, Autriche, Scandinavie). Aux Pays-Bas, l'importance de l'industrie chimique a certainement contribué à la longueur d'avance que ce pays affiche sur la Suisse en matière de bioraffinage. En revanche, dans le domaine des colles et des produits chimiques destinés à la construction, la Suisse peut compter sur des entreprises nationales leaders à l'international comme Sika, Collano, BASF Suisse (qui a racheté Ciba Spécialités chimiques SA), Lonza et Clariant. En ce qui concerne les nouvelles applications (assemblages et modification du bois), la Suisse peut par suite se prévaloir d'un paysage industriel innovant qui facilite la coopération avec les projets de recherche.

Dans le secteur de la construction en bois et des nouveaux matériaux, le développement des processus et de la production sont envisageables aussi bien en Suisse qu'à l'étranger. En matière de bioraffinage, l'objectif à atteindre ne doit pas nécessairement prendre la forme d'une installation commerciale pleinement fonctionnelle implantée sur le sol suisse. Un centre de compétences doté d'une installation pilote permettrait en effet de mettre au point la technologie pour des processus spécifiques ou des raffineries entières et d'exporter ensuite ce savoir-faire. Une autre option consisterait à privilégier les produits de niche à haute valeur ajoutée. Malgré les handicaps évoqués précédemment, de tels produits haut de gamme pourraient être fabriqués de façon tout à fait compétitive en Suisse.

BILAN DU PNR 66

En Suisse, la situation est favorable à la filière bois dans de nombreux domaines. Des lacunes persistent, mais il devrait être possible d’y remédier grâce à de nouvelles plates-formes de recherche ciblées, à des efforts redoublés dans le domaine de la formation, à une exploitation plus efficace de la forêt et à un engagement accru des administrations et des décideurs politiques.

Les conditions existantes sont propices à un engagement actif des diverses parties prenantes pour le bois et la forêt. La population suisse témoigne d’un fort attachement à la forêt et ses fonctions. L’utilisation du bois constitue une tradition de longue date qui tend à prendre de l’importance compte tenu du changement climatique et de l’épuisement des ressources fossiles. En tant que matière première écologique, le bois a ainsi vocation à se substituer aux matériaux de construction énergivores tels que le béton et l’acier. La forêt de montagne, en particulier, représente une réserve considérable de bois en perpétuelle croissance. Or, les projets du PNR66 ont mis en lumière que ce bois pouvait être utilisé sans nuire à l’efficacité des forêts protectrices ni affecter la durabilité. Le rôle de la forêt dans la préservation et le développement de la biodiversité ne changerait pas. Le PNR66 a par ailleurs confirmé que c’est en récoltant autant de bois qu’il en pousse qu’on stocke le maximum de CO₂ sur une surface forestière donnée.

Malgré ces considérations, les problèmes d’accessibilité rencontrés dans les régions de récolte entraînent des frais d’exploitation et de transport élevés qui font obstacle à une utilisation plus intensive du bois. De même, l’exploitation des forêts multifonctionnelles – qui répondent précisément aux souhaits de la population suisse – se révèle fort onéreuse. Résoudre la question financière exige d’abaisser les coûts d’exploitation, mais la fragmentation actuelle de la propriété forestière et l’inertie de la filière constituent un frein considérable à une exploitation et une commercialisation plus efficaces.

Des améliorations sont aussi possibles sur le plan de l’utilisation du bois. Aujourd’hui, près d’un tiers du bois récolté fait directement l’objet d’une va-

lorisation énergétique qui pourrait être optimisée grâce à des améliorations techniques. Dans une utilisation en cascade, le bois est tout d’abord utilisé dans la construction ou l’industrie chimique avant d’être exploité sous la forme de résidus ou de vieux bois pour la production d’énergie. Le PNR montre que des améliorations techniques et un accroissement des volumes sont tout à fait envisageables pour l’utilisation du bois en tant que matériau de construction. Le bois présente en outre un potentiel considérable jusqu’alors inexploité en tant que substance de base pour l’élaboration de produits chimiques dans les bioraffineries, mais aussi comme matière première pour la création de nouveaux matériaux. Dans une optique de durabilité, la combustion ne devrait être envisagée qu’après ces usages matériels. Le PNR66 souligne néanmoins que l’utilisation en cascades aussi longues que possible, qui s’avère souhaitable d’un point de vue écologique, paraît pour le moment en partie difficilement réalisable du fait des conditions économiques.

Le développement de telles possibilités de transformation, de la construction à la valorisation énergétique, réduirait pourtant l’empreinte écologique de la Suisse tout en augmentant la création de valeur dans le pays. Mettre l’accent sur de nouvelles utilisations basées sur le bois contribuerait en outre à la réalisation de plusieurs objectifs fixés par l’«Agenda 2030 pour le développement durable»: industrie, innovation et infrastructure (objectif 9), consommation et production responsables (objectif 12) et mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques (objectif 13).



L'excursion dans la forêt bourgeoise de Bienne en avril 2013 a permis aux chercheuses et chercheurs ainsi qu'aux membres du comité de direction d'avoir un aperçu des pratiques de l'industrie forestière en Suisse.

RECOMMANDATIONS DU PNR 66

S'appuyant sur les résultats des 30 projets de recherche, la direction du programme a évalué et synthétisé les recommandations issues des quatre plates-formes de dialogue afin de formuler les recommandations suivantes :

Préserver les atouts

- Les technologies mises au point dans le cadre des projets doivent être perfectionnées afin d'être commercialisables.
- Il est nécessaire d'approfondir le savoir-faire actuel et de poursuivre l'encouragement de la recherche.
- Il faut par conséquent continuer d'avancer dans le sillon des progrès réalisés au niveau des matériaux et de la construction, mais aussi de l'industrialisation et de la numérisation dans le secteur de la construction en bois.

Comblent les lacunes

- L'utilité du bois ne se limite plus à la construction et au chauffage ; il peut désormais servir de matière première pour des produits de synthèse et des vecteurs énergétiques.
- Il importe d'établir, avec la participation des acteurs économiques, un « centre de compétences » et une installation de démonstration pour la bioraffinerie.
- Un nouveau centre de recherche et développement « Innovations Bois Suisse » aiderait à surmonter les obstacles freinant la mise sur le marché de certaines technologies. Cet établissement peut éventuellement être créé avec un soutien régional et aidera la Suisse à acquérir un profil international dans le domaine des innovations dérivées du bois.

Saisir les opportunités

- Il importe d'encourager les regroupements et les coopérations entre propriétaires de forêts

ainsi que des organisations de commercialisation du bois communes afin de parvenir à une exploitation plus rationnelle des forêts.

- L'industrie du bois et les autres secteurs industriels devraient investir plus largement que dans les utilisations conventionnelles du bois, participer aux centres de compétences spécialisés et améliorer ainsi leur compétitivité.

Développer la formation initiale et continue

- Un cursus « Bioraffinerie » doit voir le jour dans l'enseignement supérieur.
- En matière de formation professionnelle et supérieure, il importe de donner la priorité à l'acquisition et au développement de compétences dans les domaines de la construction en bois, mais aussi de la planification et de la construction numériques.

Améliorer les conditions-cadres

- La création d'une « Commission suisse de recherche en bioéconomie » viendrait étayer la mise en œuvre d'une « Stratégie suisse de bioéconomie ».
- À cet égard, la priorité doit aller à l'encouragement de la recherche sur le bois dans les domaines de la bioraffinerie et des matériaux innovants.
- La recherche sectorielle et d'autres moyens d'encouragement tels que le « Plan d'action bois » seront examinés et, si nécessaire, ajustés à la lumière de ces recommandations.
- La Suisse continue de participer à l'élaboration des normes européennes dans le domaine de la construction en bois.
- Dans l'optique d'une exploitation pérenne de la forêt et d'une utilisation durable du bois, il importe d'améliorer les conditions-cadres, si possible grâce à un soutien accru du secteur public.

LES PROJETS DU PNR 66

LE PNR 66 EN BREF

Les programmes nationaux de recherche PNR fournissent des contributions scientifiques étayées pour remédier à des problèmes urgents d'envergure nationale. Ils sont réalisés sur mandat du Conseil fédéral et sous la direction du Fonds national suisse pour la recherche. Les PNR sont rattachés à la division IV « Programmes » (www.fns.ch).

Programme national de recherche « Ressource bois »

Dans le cadre d'un dialogue avec les représentants des milieux économiques et des autorités, le programme national de recherche « Ressource bois » (PNR 66) a élaboré des bases scientifiques et des solutions pour optimiser la disponibilité et l'utilisation du bois en Suisse. Le programme coordonné par la Commission pour la technologie et l'innovation CTI disposait d'une enveloppe budgétaire de 18 mio fr. Les travaux de recherche se sont échelonnés de 2012 à fin 2016. 30 équipes de recherche de Suisse y ont participé.

Les **30 projets de recherche du PNR66** reflètent l'éventail des nouvelles approches de l'exploitation du bois et indiquent les voies à suivre pour améliorer la disponibilité des ressources et inscrire le management du cycle de matière dans une perspective durable. Fin 2013, le comité de direction a défini quatre dialogues thématiques. Ceux-ci portent sur les principaux domaines de la chaîne de valeurs forêt/bois et ont été développés de concert avec les représentants des milieux économiques, des associations et des autorités dans le cadre des plates-formes de dialogue. Les résultats des travaux de recherche et des plates-formes de dialogue sont résumés dans les quatre synthèses partielles.

Pour plus d'informations cf. www.pnr66.ch



Plate-forme de dialogue 1 : Avancées dans la construction en bois

De nouvelles structures porteuses fiables en bois de hêtre

Frangi Andrea, EPF Zurich

Jusqu'à présent, le hêtre était principalement utilisé comme bois-énergie. L'objectif de ce projet était de développer et de mettre au point pour la pratique de nouvelles structures porteuses en bois de haute fiabilité et de qualité supérieure et de se rapprocher ainsi de la vision d'un matériau aussi solide et fiable que l'acier et aussi durable que le bois. De telles structures porteuses ont vocation à se substituer aux matériaux de construction énergivores en faisant appel à des ressources suisses.

Assemblage assisté par robot de structures porteuses complexes en bois

Kohler Matthias, EPF Zurich

Les robots peuvent assembler des éléments simples de manière précise et économe afin de former des structures complexes. L'équipe de recherche a utilisé plusieurs prototypes à l'échelle 1:1 pour analyser comment des procédés numériques de conception et de fabrication peuvent influencer sur la construction en bois du futur. Le projet contribue ainsi à rendre de telles structures porteuses moins onéreuses, et donc plus attractives.

Construction de planchers en bois dur à l'acoustique optimisée

Krajčič Lubos, Soundtherm GmbH

L'isolation phonique pose souvent problème dans la construction en bois. L'équipe de ce projet a mis au point une construction de planchers en bois dur présentant une insonorisation améliorée des basses fréquences. Destiné à des immeubles d'habitation ou de bureaux, ce produit peut remplacer les planchers massifs conventionnels.

Assemblage par collage d'éléments de structures porteuses en bois de feuillus

Niemz Peter, EPF Zurich

Pour renforcer la part de bois de feuillus dans les constructions en bois, il faut pouvoir compter sur des assemblages par collage parfaitement fiables. Le projet a étudié l'utilisation particulièrement complexe de ces essences qui sont soumises à des contraintes internes nettement supérieures à celles du bois de résineux. À l'avenir, le bois de feuillus pourra ainsi offrir une alternative intéressante au bois de résineux pour la réalisation d'éléments de structures porteuses.

Ouvrage porteur en bois résistant aux séismes pour bâtiments à plusieurs étages

Steiger René, Empa, Dübendorf

Au cours des dernières années, la prise en compte des risques sismiques a gagné en importance dans les projets de structures porteuses. La construction en bois se doit donc aussi d'adopter cette nouvelle perspective. L'équipe de projet s'est penchée sur le comportement des assemblages et des éléments de parois aussi bien que d'un bâtiment en cas des efforts horizontaux résultants de séismes ou de vents violents. Les résultats obtenus permettent de donner des recommandations pour des structures porteuses en bois optimisées pour les bâtiments à plusieurs étages et pour des méthodes de dimensionnement adéquates.

Dimensionnement des assemblages par collage dans la construction en bois

Vasilopoulos Anastasios, EPF Lausanne

Les assemblages bois-bois permettent une grande variété de formes et améliorent ainsi la compétitivité de la construction en bois. L'équipe du projet a développé de nouveaux types d'assemblages tout en analysant les données fondamentales et en élaborant un concept de dimensionnement. Ces travaux ont permis d'acquérir une compréhension approfondie du comportement sous charge du bois de construction.

Bois et béton allégé par le bois : les matériaux de demain ?

Zwicky Daia, École d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg

À côté du bois, il est également envisageable d'utiliser des matériaux hybrides combinant les propriétés de divers matériaux de construction. Ce projet portait sur le développement de nouvelles bases concernant les éléments porteurs constitués de bois et de béton allégé par le bois. Outre une portance statique, ces éléments de construction novateurs présentent également des avantages économiques, écologiques et physiques du bâtiment.



Plate-forme de dialogue 2 : Nouvelles voies dans le bioraffinage du bois

L'épuration des gaz à chaud améliore la rentabilité de la transformation du bois en gaz

Biollaz Serge, Paul Scherrer Institut (PSI)

À l'heure actuelle, le bois est directement utilisé comme bois-énergie afin de produire de la chaleur et de l'électricité. Ce projet a étudié comment le transformer en gaz combustible par gazéification et comment épurer le gaz obtenu pour une utilisation optimale. Comparée à l'épuration des gaz à froid utilisée jusqu'ici, l'épuration à chaud étudiée dans le cadre de ces recherches améliore nettement la rentabilité du procédé.

Division de la lignine pour former des composés aromatiques

Corvini Philippe, Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse

La lignine affiche un immense potentiel pour la fabrication de précieuses substances chimiques. Le projet a étudié la combinaison de processus de transformation chimiques et biologiques. Les propriétés structurales du bois permettent un pro-

nostic de réussite plus prometteur qu'avec les processus utilisés à ce jour.

Transformation simultanée du bois en produits chimiques de base

Dyson Paul, EPF Lausanne

En tant que biomasse, le bois peut remplacer le pétrole dans bien des domaines. Le projet a étudié comment parvenir à ce résultat en développant des nanocatalyseurs très efficaces et en utilisant des systèmes catalytiques multifonctionnels. Des fondements propices à la transformation du bois en produits chimiques de valeur ont ainsi été posés.

Wood2Chem: une plate-forme informatique pour le développement de bioraffineries

Maréchal François, EPF Lausanne

De nombreux concepts de bioraffineries existent déjà. La plate-forme informatique développée dans le cadre de ce projet permet de concevoir des filières innovantes de valorisation de la ressource bois par une approche holistique et intégrée. En fonction du matériau dérivé et des produits souhaités, il est ainsi possible de planifier une installation optimale tant au niveau écologique qu'économique et technique.

Génération d'hydrogène de grande pureté à partir de bois

Müller Christoph, EPF Zurich

Un processus innovant de génération d'hydrogène de grande pureté à partir de bois était au centre de ce projet. Basé sur les réactions d'oxydoréduction de l'oxyde de fer, ce processus contribue à réduire la dépendance à l'égard des énergies fossiles dans les secteurs des transports et de l'électricité.

Chaudières à grille optimisées pour combustibles ligneux

Nussbaumer Thomas, Haute École de Lucerne

Le bois est souvent de dimensions et de qualités hétérogènes. En partenariat avec l'industrie, l'équipe du projet a envisagé des solutions d'optimisation des chaudières à grille pour combustibles ligneux. Cette démarche permet d'obtenir aussi un rendement élevé du bois de qualité inférieure tout en minimisant les émissions d'oxyde d'azote.

Fabrication combinée de carburants et sde produits chimiques à partir de bois

Rudolf von Rohr Philipp, EPF Zurich

Dans une bioraffinerie, le prétraitement représente une étape essentielle pour la valorisation du bois. Une approche innovante combinant un prétraitement du bois à l'eau chaude et des «pièges à radicaux» se trouve au centre de ce projet. Cette

partie du processus contribue à rendre le bois plus attractif pour la production de carburants et de produits chimiques.

Optimisation des processus de synthèse du gaz naturel issu de bois

Schildhauer Tilman, Paul Scherrer Institut (PSI)

Jusqu'à présent, la méthanation du bois n'était que peu développée. Le projet portait donc sur la méthanation catalytique à lit fluidisé afin d'en tirer des enseignements pour l'exploitation et la conception d'installations à visée commerciale.

Mise au point de protéines synthétiques pour optimiser l'exploitation chimique du bois

Seebeck Florian, Université de Bâle

Le potentiel du bois en tant que matériau de base pour les synthèses chimiques n'est pas épuisé. L'équipe de projet a donc mis au point des méthodes biocatalytiques adaptées pour modifier la lignocellulose. Ce procédé a permis de trouver de nouveaux moyens d'exploiter la biomasse ligneuse.

De l'éthanol pour remplacer l'essence: comment produire efficacement du carburant à partir du bois

Studer Michael, Haute école spécialisée bernoise

Le bioéthanol tiré du bois pourrait remplacer les carburants fossiles, car il ne génère que de très faibles émissions de CO₂, gaz préjudiciable au climat. L'amélioration du procédé de production de ce carburant de substitution était au cœur de ce projet, dans la perspective d'une application industrielle et commerciale.

Les radicaux libres dans la lignine: la clé de la fabrication de substances chimiques «vertes»

Vogel Frédéric, Paul Scherrer Institut (PSI)

Les radicaux libres présents dans la lignine sont probablement la clé de sa décomposition chimique en de précieuses substances. L'équipe de projet a cherché comment influencer la nature et le nombre de ces radicaux. Cette approche peut aboutir à de nouveaux procédés d'élaboration de produits chimiques «verts».



Plate-forme de dialogue 3 : Innovations dans les matériaux à base de bois

Profils de propriétés du bois améliorés pour les ouvrages en bois

Burgert Ingo, EPF Zurich

Le bois est un matériau remarquable et très polyvalent, mais certaines de ses propriétés défavorables freinent son utilisation. Ce projet visait ainsi à améliorer le bois et ses dérivés en modifiant les parois des cellules et les surfaces des fibres grâce à la chimie des polymères et à la nanotechnologie, une avancée très utile pour la construction en bois.

La nanotechnologie au service de la conservation du bois

Fink-Petri Alke Susanne, Université de Fribourg

La nanotechnologie offre un fort potentiel pour la protection du bois. Afin d'explorer ces possibilités, l'équipe de recherche a systématiquement étudié l'effet sur le bois de minuscules particules bien définies et analysé leurs éventuels impacts sur la santé. Les résultats visent à permettre une utilisation renforcée de la nanotechnologie pour la protection du bois.

Traitement des surfaces en bois à l'aide de photo-initiateurs

Grützmaier Hansjörg, EPF Zurich

Le vieillissement des surfaces en bois est un critère déterminant dans la décision d'utiliser ou non ce matériau. Dans le cadre de ce projet, les surfaces en bois massif et en particules de bois ont été modifiées de manière à produire de nouveaux matériaux composites. La modification des surfaces à l'aide de nouveaux photo-initiateurs permet une plus large utilisation du bois dans le bâtiment.

Extraction de tanins de l'écorce de résineux indigènes

Pichelin Frédéric, Haute école spécialisée bernoise

Dans la fabrication de produits dérivés du bois sans formaldéhyde, il est possible d'avoir recours à des tanins pour l'élaboration de colles. L'équipe de projet a cherché à déterminer si les tanins de l'écorce de résineux suisses pouvaient être utilisés de façon rentable. Grâce à cette démarche, les composants en question pourront désormais être fabriqués, au moins en partie, en Suisse.

Panneau en bois ultraléger à base bio et au cœur de mousse

Thoemen Heiko, Haute école spécialisée bernoise

Les panneaux modernes pour meubles sont des matériaux à la structure optimisée au regard de leurs propriétés mécaniques et de leur poids. L'équipe de recherche a développé un panneau sandwich, à base bio, doté d'un parement en particules de bois avec un cœur en mousse. Ces produits allégés rendent plus attractive l'utilisation de matériaux de construction à base de bois.

Autoprotection contre les UV des surfaces de bois grâce aux fibres de cellulose

Volkmer Thomas, Haute école spécialisée bernoise

Sous l'effet du soleil et des intempéries, les surfaces en bois se décolorent et deviennent rugueuses. Le projet consistait à étudier les méthodes pouvant augmenter la résistance du bois aux UV, prévenir ou du moins retarder, les marques laissées par les facteurs climatiques afin d'améliorer la compétitivité du matériau bois en usage extérieur.

Nouvelles méthodes de production de nanocomposites à base de cellulose

Weder Christoph, Université de Fribourg

Les nanofibres de cellulose ultra-robustes présentent des propriétés mécaniques intéressantes telles que la résistance à la traction. Ce projet a développé de nouveaux procédés de production de nanocomposites à base de cellulose exploitables à plus grande échelle. Cette condition est essentielle à la production industrielle de nanofibres de cellulose.

Nanofibrilles de cellulose (NFC) dans les revêtements pour surfaces en bois

Zimmermann Tanja, Empa, Dübendorf

Le bois est un matériau de construction très apprécié pour les revêtements extérieurs. Le projet portait sur les nanofibrilles de cellulose comme nouvel additif pouvant jouer un rôle déterminant dans les produits de protection du bois contre les intempéries et les micro-organismes.



Plate-forme de dialogue 4 : Approvisionnement et utilisation durable du bois

MOBSTRAT : stratégies de mobilisation du bois issu des forêts suisses

Brang Peter, Institut fédéral de recherches sur la forêt,
la neige et le paysage (WSL)

Comment, à quel prix et avec quelles conséquences, le bois suisse peut-il être utilisé de manière plus intensive ? Voici les questions abordées par ce projet interdisciplinaire regroupant des scientifiques issus des sciences naturelles et sociales ainsi que des représentantes et représentants du secteur forestier. Les résultats démontrent des options pour une utilisation accrue du bois.

Exploitation écologique des ressources de bois en Suisse

Hellweg Stefanie, EPF Zurich

De l'arbre à la menuiserie en passant par l'ameublement et la valorisation énergétique, le cycle de vie du bois est souvent long. Le projet a analysé ce processus dans l'optique d'une utilisation optimale de la ressource bois. Les résultats servent de bases décisionnelles aux acteurs politiques, industriels et sylvicoles.

Analyse économique du marché du bois en Suisse

Olschewski Roland, Institut fédéral de recherches
sur la forêt, la neige et le paysage (WSL)

La production du bois suisse pourrait gagner en efficacité. L'équipe de projet a donc étudié le marché du bois en Suisse à l'aide de cas concrets afin d'en donner une interprétation fondée sur la théorie économique. Les résultats ont ensuite été intégrés dans un modèle basé sur des agents qui permet de visualiser des scénarios du marché du bois de l'avenir et de mettre en évidence les moyens d'améliorer la disponibilité du bois sur le marché.

Comprendre le marché du bois : entre approvisionnement et multifonctionnalité

Zarin-Nejadan Milad, Université de Neuchâtel

Le marché suisse du bois étant très morcelé, le projet visait à analyser les facteurs ayant une influence sur ses modes de fonctionnement et ses performances. Les instruments ainsi développés peuvent servir à mieux prendre en compte les multiples fonctions de la forêt.

IMPRESSUM

Rédaction :

Pieter Poldervaart, Pressebüro Kohlenberg, Bâle
En collaboration avec le comité de direction PNR 66

Citation recommandée :

Comité de direction PNR 66 (2017) : Résumé du programme national de recherche PNR 66 « Ressource bois », Fonds nationale suisse, Berne.

Résumé du programme élaboré et publié avec le soutien du Fonds national suisse pour la promotion de la recherche scientifique dans le cadre du programme national de recherche PNR 66 « Ressource bois ».



Ressource bois
Programme national de recherche PNR 66



FONDS NATIONAL SUISSE
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Comité de direction :

Dr Martin Riediker (président) ; Prof. Charlotte Bengtsson, Skogforsk (the Forestry Research Institute of Sweden), Uppsala, Suède ; Prof. Alain Dufresne, École d'ingénieurs en sciences du papier, de la communication imprimée et des biomatériaux, PAGORA, Institut Polytechnique de Grenoble, France ; Prof. Birgit Kamm, Forschungsinstitut Bioaktive Polymersysteme, Teltow, Allemagne ; Prof. Jakob Rhyner, Université des Nations Unies (UNU), Bonn, Allemagne ; Prof. Liselotte Schebek, Institut IWAR, Technische Universität Darmstadt, Allemagne ; Prof. Alfred Teischinger, Institut für Holzforschung, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Autriche ; Prof. Philippe Thalmann, Laboratoire d'économie urbaine et de l'environnement, EPF Lausanne.

Déléguée de la division IV du Conseil national de la recherche :

Prof. Nina Buchmann, EPF Zurich (jusqu'à fin 2015) ;
Prof. Claudia Binder, EPF Lausanne (à compter de 2016)

Représentant de la Confédération :

Rolf Manser, Office fédéral de l'environnement OFEV,
Berne

Coordinatrice du programme :

Dr Barbara Flückiger Schwarzenbach, Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), Berne

Chargé du transfert de connaissances et de technologies :

Thomas Bernhard, IC Infraconsult, Berne ; Dr Krisztina Beer-Toth, IC Infraconsult, Berne (de mai 2015 à février 2017)

Mise en page et illustrations :

cR Kommunikation, Zurich ;
Alber Visuelle Kommunikation, Zurich

Traduction : Trad8, Delémont

Photographies :

Urs-P. Twellmann, Münsingen/Lignum (photo de couverture) ; Marco Finsterwald Fotografie

Les différentes équipes de recherche répondent de leurs résultats, les auteurs sont responsables des synthèses et des recommandations et le Comité de direction, dont l'opinion ne doit pas nécessairement correspondre à celle du Fonds national suisse ou du Conseil consultatif, du résumé du programme.

En Suisse, le bois possède le potentiel nécessaire pour prendre la relève du pétrole au XXI^e siècle. Le PNR 66 Ressource bois a démontré qu'il est possible de poursuivre le développement des applications actuelles du bois dans la construction et la production d'énergie, et même de les renforcer. En outre, le bois peut entrer dans la composition de produits innovants développés dans d'autres branches. Il peut, en particulier, être utilisé comme matière première dans les bioraffineries pour fabriquer des produits chimiques jusqu'alors élaborés à partir de pétrole. Grâce à ces possibilités d'utilisation multiples et variées, le bois peut promouvoir l'innovation et donner de nouvelles impulsions à une économie suisse qui possède déjà un savoir-faire de pointe dans les domaines de la chimie, des matières premières, de la construction et de l'ingénierie système.