

# WOW!

Le magazine de la technique pour les jeunes

# TechnoScope

2/14  
by SATW



Chaque année, près de 400 millions tonnes de papier et de carton sont produits dans le monde. Les plus gros producteurs sont la Chine, les Etats-Unis, le Japon et l'Allemagne.

Au niveau mondial, près de 130 000 m<sup>2</sup> de forêts disparaissent chaque année en raison de la déforestation ou de catastrophes naturelles. Soit environ trois fois la surface de la Suisse.

43% de la surface boisée suisse protègent les installations de transport et les lotissements contre les dangers naturels.

Le bois de gaïac est le bois le plus dur du monde. Deux fois plus dur que le bois de frêne ou de chêne et si lourd qu'il ne flotte pas sur l'eau.

Le pont d'U Bein au Myanmar (Birmanie) est le plus long pont en bois du monde (1,2 kilomètre). Il traverse le lac Taungthaman à Amarapura.

Près d'un tiers de la superficie de notre pays est recouvert de forêts. 29% sont des propriétés privées.

Une même performance énergétique, mais différentes quantités de combustibles: 1 baril de mazout (soit 159 litres) fournit autant d'énergie qu'un tas d'environ 1,5 mètre cube de copeaux de bois.

## SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften  
Académie suisse des sciences techniques  
Accademia svizzera delle scienze tecniche  
Swiss Academy of Engineering Sciences

## Le bois



Une matière première polyvalente

Le bois: un matériau tendance

Des déchets de bois au matériau high-tech

Avec concours



# Une matière première polyvalente

**Le bois est un matériau d'exception: source d'énergie, il est aussi idéal pour la construction et essentiel à la fabrication du papier. En outre, cette matière première renouvelable est particulièrement écologique.**

Aucun autre matériau naturel n'est aussi polyvalent que le bois. Ses utilisations sont multiples: matériau de construction et matière première pour les maisons et les meubles, fournisseur de fibres pour la fabrication du papier et du carton ou encore source d'énergie renouvelable. Rien d'étonnant donc à ce que l'homme l'utilise depuis toujours. Aujourd'hui encore, à l'ère des matériaux high-tech, le bois reste l'une des principales matières premières. A l'échelle mondiale, la quantité de bois produite dépasse celle de l'acier, de l'aluminium ou du béton.

Le bois se démarque par sa polyvalence et ses propriétés écologiques. Dans la mesure où le volume d'arbres abattus ne dépasse pas celui des nouveaux arbres plantés, le bois est une matière première renouvelable dont l'exploitation est en principe illimitée. La possibilité de réutiliser le bois plusieurs fois est un autre point positif. Par exemple, les anciennes poutres de charpente peuvent être transformées d'abord en panneaux

de fibres et plus tard la combustion servira à produire de l'énergie. Cette utilisation en cascade n'en est toutefois qu'à ses débuts. Par exemple, la majeure partie du bois des arbres feuillus est directement destinée à la production d'énergie sans avoir servi au préalable de matériau de construction.

## Un potentiel inexploité

En tenant compte également de l'écorce des arbres et des branches, près de 5,5 millions de mètres cube de bois sont récoltés chaque année en Suisse. Environ deux tiers des arbres abattus sont des résineux utilisés principalement comme bois de construction. Mais le potentiel du bois en tant que matière première est loin d'être pleinement exploité en Suisse. A l'heure actuelle, on ne récolte que deux tiers de la quantité de bois que pourrait nous fournir nos forêts sans surexploitation. Là est le paradoxe: malgré la popularité croissante des constructions en bois et la demande accrue en énergies renouvelables,

la production de bois en Suisse est en recul ces dernières années, ce principalement pour la raison suivante: des produits bon marché sont importés de l'étranger pour la construction en bois, ce qui fait chuter la demande intérieure.

Si l'on ajoute les importations de l'étranger, le bois recyclé et le papier usagé récupéré, la consommation de bois annuelle totale en Suisse s'élève à plus de 10 millions de mètres cube, dont la moitié sert à la production d'énergie. Le nombre de chauffages à pellets ou copeaux ne cesse d'augmenter. Le reste du bois utilisé se répartit en parts égales entre la fabrication de papier et de carton et la production de produits en bois massif ou de matériaux en bois (p. ex. panneaux agglomérés).

## Qu'est-ce que le bois?

Le terme «bois» désigne le tissu solide des arbres et arbustes. Le bois est produit par le cambium des arbres, une fine couche située sous l'écorce. Selon la saison, les nouvelles cellules de bois sont de taille et de couleur différentes. C'est ainsi qu'apparaissent les cernes annuels caractéristiques qui permettent de déterminer l'âge d'un arbre.

Le bois se compose principalement de cellulose (40 à 50 %), qui constitue la structure de base et absorbe les forces de traction qui s'exercent sur l'arbre; le reste du bois se compose d'hémicellulose et de lignine. Ces deux substances servent de matériau de remplissage et de support et absorbent les forces de pression. L'interaction des trois matériaux forge les propriétés mécaniques du bois et détermine sa souplesse et sa résistance. Comme le bois présente une constitution différente selon l'espèce d'arbre, les types de bois se distinguent par leur structure. En raison de ces différences, chaque bois a des propriétés spécifiques qui le destinent à une application plutôt qu'à une autre.



Les maisons en bois sont tendance.

► Projet d'un bâtiment de 30 étages dans la métropole canadienne de Vancouver  
Firme: mcfarlane green biggar ARCHITECTURE + DESIGN  
Project Lead Architect: Michael Green, Architect AIBC



## Le bois: un matériau tendance

**Le bois est un matériau de construction très avantageux, d'où l'augmentation ces derniers temps du nombre de maisons construites en bois. En combinaison avec d'autres matériaux, les propriétés du bois peuvent encore être améliorées.**

Une maison en bois de 30 étages devrait bientôt enrichir la ligne d'horizon de Vancouver au Canada. D'autres pays développent des projets similaires en vue d'atteindre de nouveaux sommets. «Même les maisons en bois sont sujettes à compétition, pour savoir qui construira le plus haut», explique Andrea Frangi, professeur en construction en bois à l'ETH Zurich. «Dans la pratique, la priorité n'est pas à ces ouvrages spectaculaires, mais aux bâtiments «normaux» à plusieurs étages dont le nombre ne cesse de croître.»

Selon une statistique de la Haute école spécialisée de Berne, 1530 immeubles collectifs, commerciaux et publics ont été construits en Suisse en 2013, soit 50 % de plus qu'il y a cinq ans. «Les maisons en bois ne représentent encore qu'une petite partie des nouvelles constructions», estime Frangi, «mais la tendance est claire: le bois s'impose de plus en plus comme matériau de construction.» Et cela pour une bonne raison: matière première renouvelable, le bois est écologique. La construction en bois est aussi plus rapide. «Les maisons en bois sont

construites à sec et les différents composants peuvent être préfabriqués en atelier. Un double gain de temps», explique Frangi. De plus, le bois étant plus léger que le béton ou l'acier, les fondations des grands bâtiments sont beaucoup moins sollicitées. Enfin, dernier atout mais non des moindres: en cas de séisme, les constructions en bois sont exposées à des forces plus faibles que les constructions massives.

### Combiner les points forts

Le bois a toutefois certains inconvénients: les constructions en bois n'offrent pas une protection acoustique optimale et ont une solidité et une fiabilité limitées. C'est pourquoi Frangi et son groupe de chercheurs recherchent comment améliorer efficacement les propriétés des composants en bois. «Pour les poutres en bois, les nœuds affaiblissent la résistance du matériau», explique-t-il. «Le renforcement par un matériau composite en fibres permet d'éviter cet inconvénient et d'améliorer la fiabilité du matériau.» La combinaison du bois et du béton est aussi une variante intéressante. Le bois peut absorber les contraintes de traction tandis que le béton ré-

siste à une pression élevée. En combinant ces deux matériaux, on obtient idéalement un composant qui offre une résistance élevée à la pression et à la traction. Le résultat obtenu dépend en grande partie de la manière d'associer les matériaux – p. ex. avec des dentures mécaniques ou des vis.

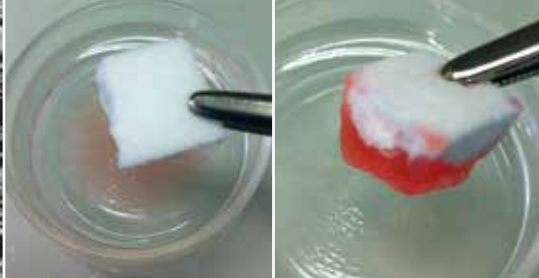
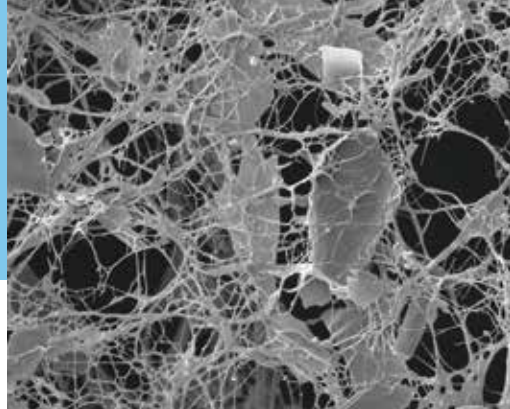
Un autre thème occupe les chercheurs: les maisons en bois sont presque exclusivement construites en bois de résineux. D'une densité plus faible que le bois de feuillus dur, il est plus facile à traiter à la scierie. De plus, le bois de hêtre, le plus répandu en Suisse, est sensible à l'humidité et se déforme assez vite. Frangi recherche désormais comment traiter le bois de feuillus pour l'utiliser comme matériau de construction. «Nous avons de nombreux arbres feuillus dans nos forêts. Il est dommage que nous les utilisions si peu pour la construction.»



### Protection incendie: une donnée à ne pas négliger

Il y a 10 ans encore, les prescriptions de protection incendie en Suisse interdisaient la construction de bâtiments en bois à plusieurs étages, mais cela a changé en 2003 avec l'assouplissement de la réglementation concernée et l'autorisation de construire des maisons en bois à six étages. Cela grâce à des essais au feu détaillés qui ont permis d'analyser la manière dont se comportaient les constructions en bois en cas d'incendie.

La construction de maisons en bois à plusieurs étages est exigeante. «Cela demande une planification précise, une exécution qualité complète», explique Andrea Frangi. «Dans les maisons en bois, contrairement aux constructions massives, il est impossible sur le chantier de faire un trou supplémentaire pour un câble modifié, au risque de compromettre la protection incendie du bâtiment.» Pour combiner le bois avec l'acier, le plastique ou le béton, il est essentiel de savoir exactement comment se comporteront ces composés en cas d'incendie. Si la résistance du composite diminue brusquement en cas de forte chaleur, les conséquences pour les personnes dans le bâtiment peuvent être fatales.

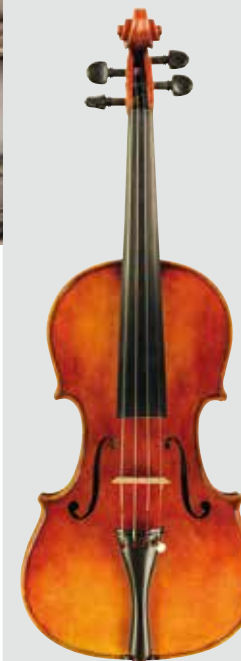


▲ Eponges éliminant le pétrole dans les eaux: à gauche, avant l'absorption du pétrole en rouge; à droite, après l'absorption.

◀ Réseau de fibrilles cellulosiques avec particules d'argiles réparties, qui retient l'oxygène et la vapeur d'eau pour garder les aliments au frais.



Les chercheurs de l'Empa produisent une nanocellulose gélatineuse à partir de papier usagé et recherchent des applications possibles. Pour produire la nanocellulose, ils utilisent notamment cet appareil de minéralisation.



### Un violon magistral grâce aux champignons lignicoles

Parce qu'ils décomposent le bois, les champignons sont impopulaires. Toutefois, utilisés de façon ciblée, ils peuvent améliorer les

qualités du bois. Les chercheurs de l'Empa ont démontré que les violons conçus dans un bois traité au préalable avec un champignon ont une meilleure sonorité. En 2009, lors d'un concert, un tel violon a été comparé à un violon Stradivarius valant deux millions de dollars. Le jury a préféré le violon biotech dont le son serait à son avis plus rond et plus chaud.

## Des déchets de bois au matériau high-tech

**Des chercheurs de l'Empa broient des déchets de bois pour obtenir de nouveaux matériaux. La cellulose de bois nanofibrillée pourrait servir prochainement dans l'industrie du conditionnement, la médecine et les travaux de déblaiement après des catastrophes pétrolières.**

Le bois est un matériau de construction à usage concret, p. ex. pour des tables, des chaises et des lattes de toit. Toutefois, ce matériau se défait de plus en plus de son image rustique et devient un matériau high-tech pour la recherche et le développement. «Le bois est un matériau de construction léger fascinant, à la fois parfaitement stable et fonctionnel», explique Tanja Zimmermann. A l'Empa de Dübendorf, elle mène depuis 10 ans des recherches sur des matériaux à base de bois novateurs. «Une étude précise de la structure du bois nous permet d'en apprendre beaucoup pour nos recherches et de trouver des idées de matériaux en bois innovants.» Dans son groupe de recherche, le bois n'est pas traité sous forme de poutres et de lattes, mais de fibres minuscules. Les déchets de fibres issus de la production de papier, de la paille ou du papier usagé servent de matériaux de base. En laboratoire, ceux-ci sont trempés dans l'eau, broyés et écrasés dans de grandes vasques en aluminium. Les chercheurs pulvérisent ensuite la pâte cellulosique ou la pressent avec une pompe à haute pression à travers des capillaires minces fortement ramifiés. Résultat: une suspension géla-

tineuse, composée de millions de fibres cellulosiques d'un diamètre de dix à 100 nanomètres et d'une longueur de quelques micromètres.

### Des emballages en cellulose pour les denrées alimentaires

Cette cellulose nanofibrillée présente une structure chimique fortement ramifiée ainsi qu'une grande surface. A la joie des chercheurs, elle est extrêmement réactive. En modifiant chimiquement la nanocellulose, ils changent les propriétés du matériau. Par exemple, Zimmermann et son équipe ont mélangé les minuscules fibrilles avec de l'argile et développé ainsi un nouveau matériau d'emballage. Le film produit retient l'oxygène de l'air et la vapeur d'eau, ce qui permet de garder les aliments et les boissons au frais. Le grand avantage par rapport aux emballages en aluminium ou en plastique: la cellulose d'argile peut être brûlée ou compostée sans problème car les fibrilles de cellulose sont biodégradables.

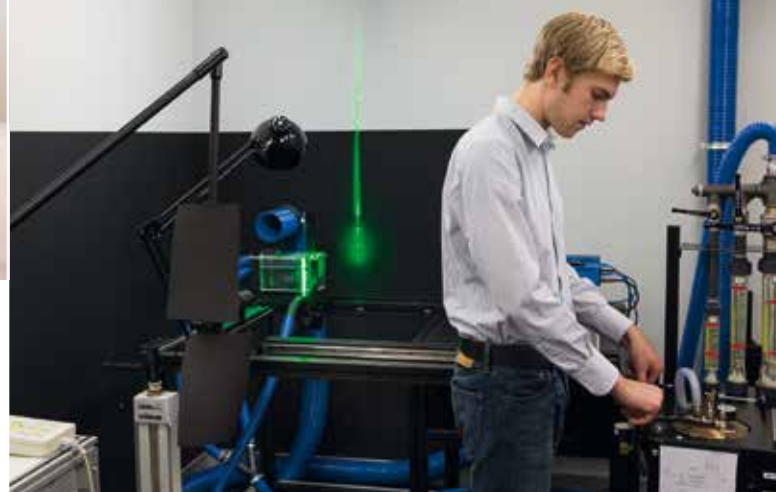
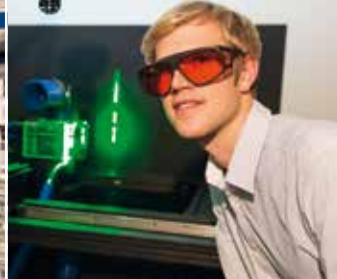
La nanocellulose offre aussi de nouvelles opportunités dans la médecine. En collaboration avec l'EPFL, les scientifiques de Zimmermann

mènent des recherches sur un matériau de substitution artificiel pour le noyau pulpeux. Il s'agit d'une masse gélatineuse dans les disques de notre colonne vertébrale. Ce noyau diminue avec l'âge en raison de la forte sollicitation. Son remplacement par un matériau adapté permettrait d'aider des milliers de personnes. Au début, l'hydrogel développé à l'EPFL ne se rapprochait pas des propriétés mécaniques du noyau naturel. Ce n'est qu'en ajoutant des nanofibres de cellulose que les propriétés ont pu être sensiblement améliorées. Le nouveau matériau a déjà été breveté et sa compatibilité fait actuellement l'objet de tests à Lausanne dans des queues de bovins.

### Le bois: la solution contre les marées noires

La dernière application des plus prometteuses de la nanocellulose concerne des éponges permettant d'éliminer le pétrole en milieu aquatique. Pour cela, les chercheurs retirent l'eau du gel de fibres de cellulose par lyophilisation. Il reste alors une éponge sèche et très poreuse. Celle-ci pouvant s'imbiber autant de pétrole que d'eau, ses fibres doivent être modifiées chimiquement. En ajoutant de l'alcoxysilane, l'éponge perd ses capacités hydrophiles et ne retient que le pétrole. Lors des essais en laboratoire, ces éponges silylées ont absorbé 50 fois plus d'huile

minérale et moteur que leur propre poids. Comme l'éponge saturée en pétrole reste à la surface de l'eau, elle peut être récupérée facilement. Suite à des collisions ou des avaries de grands pétroliers, un tel matériau pourrait contribuer à nettoyer rapidement la mer polluée. La police du lac de Zurich a déjà demandé l'éponge magique qu'elle souhaiterait utiliser sur le lac en cas de dommages moteur. Mais l'Empa n'en est pas encore là. Pour produire cette éponge en grande quantité, les chercheurs dépendent désormais de l'aide d'un partenaire industriel.



En plus de ses études de master à la haute école de Lucerne, Patrick Schwingruber travaille dans le groupe de recherche Bioénergie. Dès ses études de bachelor, il s'est spécialisé dans les énergies renouvelables, car il pense que cette «forme d'énergie va encore gagner en importance et que ce domaine offre un large éventail d'activités pour les ingénieurs».

Dans le groupe de recherche Bioénergie, Patrick Schwingruber optimise le mélange des gaz de combustion et de l'air dans les chauffages au bois industriels. Plus ce mélange est optimal, plus le rendement énergétique est élevé et moindres sont les émissions. «D'une part, nous travaillons avec des calculs numériques d'écoulement sur ordinateur et, d'autre part, nous expérimentons des petits modèles reconstitués de chauffages.»

## Etude et recherche de chauffages au bois

**Patrick Schwingruber s'est intéressé très tôt à la technique et aux énergies renouvelables. Après des études à la Haute école de Lucerne, il se destine à une carrière prometteuse d'ingénieur.**

J'ai toujours aimé travailler le bois. Mon père étant menuisier, j'ai passé beaucoup de temps dans son atelier quand j'étais enfant. Mais j'étais loin d'imaginer à l'époque que je réaliserais plus tard un travail de fin d'études sur l'utilisation énergétique de cette matière première.

A l'adolescence, je me suis davantage intéressé à la technique et aux moteurs. J'étais un véritable passionné de vélomoteurs, je passais des heures dans le garage à démonter le moteur du mien, à le maquiller un peu et le remonter. Au gymnase de Willisau, j'ai vite remarqué que j'étais doué en mathématiques et en physique. J'ai donc décidé de commencer des études d'ingénieur après avoir obtenu mon bac. J'ai pris part aux journées d'information de l'ETH Zurich et de la Haute école de Lucerne – Technique & Architecture (HSLU-T&A). J'ai finalement choisi cette dernière parce que les études y sont plus orientées vers la pratique et moins anonymes.

### L'expérience pratique en atelier

Pour pouvoir commencer mes études, j'ai dû faire un stage de trois mois dans une entreprise technique. Chez «Müller Martini Maschinen & Anlagen AG» à Hasle, j'ai travaillé à l'atelier, fabriqué des pièces usinées avec des machines CNC et soudé des constructions en tôle. C'était passionnant, j'ai vu toute la chaîne de création de valeur de l'usinage de tôles, de la préparation du travail au prémontage des sous-ensembles en passant par la production. Après, pendant les vacances semestrielles, j'ai travaillé à l'occasion comme installateur pour d'autres entreprises pour gagner un peu d'argent.

Les études de bachelor en génie mécanique à la HSLU sont très vastes et englobent des thèmes tels que la mécanique, la conception de produits, la thermodynamique et la dynamique des fluides, la technique des procédés et environnementale, ainsi que la gestion des processus et des systèmes. La dernière année, les étudiants choi-

sissent une orientation spécialisée. Je voulais absolument quelque chose en rapport avec les énergies renouvelables. Je pense que cette forme d'énergie va encore gagner en importance et que ce domaine offre un large éventail d'activités pour les ingénieurs. La production d'énergie à partir de biomasse, dont le bois fait aussi partie, joue un rôle particulier. Aujourd'hui, avec une part d'environ 10 % de la consommation d'énergie mondiale, elle constitue la principale source d'énergie renouvelable. Avec un camarade d'études, j'ai donc rédigé un travail sur la cogénération de chaleur et d'électricité lors de la combustion de pellets (bâtonnets en bois comprimés). Nous avons soumis une mini-centrale de cogénération à des tests poussés. Il s'agit d'un chauffage qui fournit au ménage de l'électricité en plus de la chaleur. Nous avons décrit le fonctionnement de l'appareil, déterminé le rendement et analysé les émissions polluantes. Nous avons aussi calculé si l'économie d'électricité et de mazout permettait de couvrir les coûts d'acquisition à long terme. C'était un travail formidable! Seule la rédaction scientifique nous a parfois donné des migraines, mais on s'est débrouillé. Au final, notre rapport comptait plus de 60 pages.

### A la recherche du mélange optimal

Après le bachelor, la Haute école de Lucerne m'a proposé, en plus des études de master, de travailler à 50 % dans le groupe de recherche Bio-énergie. J'y optimise actuellement le mélange des gaz de combustion et de l'air dans les chauffages au bois industriels. Plus ce mélange est optimal, plus le rendement énergétique est élevé et moindres sont les émissions polluantes. D'une part, nous travaillons avec des calculs numériques d'écoulement sur ordinateur et, d'autre part, nous expérimentons des petits modèles reconstitués de chauffages. Nous les étudions par «Particle Image Velocimetry» (PIV), une méthode qui nous permet d'obtenir des images des écoulements de gaz au moyen de lasers et de caméras à haute vitesse. Celles-ci nous renseignent sur la composition et le mélange des écoulements dans le chauffage réel.

Je devrais terminer mes études de master en janvier, après quoi je compte voyager deux mois aux Etats-Unis et au Canada pour me changer les idées. J'ai hâte ensuite d'occuper mon premier poste d'ingénieur dans le secteur des énergies renouvelables.

# AHA!



## Composition du papier sans bois

Le papier se compose pour l'essentiel de fibres végétales dont la longueur varie de quelques millimètres à quelques centimètres selon le type de papier. Ces fibres sont obtenues à partir du bois qui est tout d'abord transformé en pâte de bois ou pâte de cellulose. Ces deux composants donnent ensuite du papier et du carton.

La pâte de bois et la pâte de cellulose diffèrent dans le sens où la pâte de cellulose se compose uniquement de cellulose et la pâte de bois comprend aussi de grandes quantités de lignine. Le papier constitué de lignine se décolore assez vite; c'est pourquoi la pâte de bois sert avant tout au papier dont l'usage est à court terme, p. ex. pour les journaux ou les prospectus. En revanche, pour la fabrication du carton, la lignine dans la pâte de bois est un atout car elle rend le matériau plus solide.

Le papier est dit «sans bois» lorsqu'il contient moins de 5 % de pâte de bois, c.-à-d. qu'il est quasi exclusivement constitué de pâte de cellulose. La dénomination «sans bois» est trompeuse, car la pâte de cellulose est aussi produite à partir de bois.

Une pâte de cellulose permet de fabriquer du papier de longue durée. Pour produire de la pâte de cellulose, seulement 50 % du bois est utilisé, car toute la lignine doit être retirée du bois. En revanche, pour produire la pâte de bois, le bois est exploité jusqu'à 90 %.

Le recyclage du papier usagé permet de réduire sensiblement la consommation de bois dans la production de papier. Aujourd'hui, il est même possible de fabriquer du papier constitué presque exclusivement de papier usagé. Mais comme les fibres diminuent en qualité avec le temps en raison du recyclage, il est impossible de renoncer complètement à l'utilisation de nouvelles fibres.

[www.satw.ch/concours](http://www.satw.ch/concours)



## Que sais-tu à propos du bois?

Le bois est un matériau d'exception: source d'énergie, il est aussi idéal pour la construction et essentiel à la fabrication du papier. En outre, il sert de produit de base aux matériaux high-tech.

Teste tes connaissances sur le bois et remporte l'un des cinq KUBB. Ce jeu, également appelé «jeu d'échec des vikings», est conçu pour deux à douze joueurs. Le concours dure jusqu'au 30 novembre 2014. [www.satw.ch/concours](http://www.satw.ch/concours)

## Formation

Plusieurs **hautes écoles spécialisées** proposent des filières de bachelor et de master dans le domaine du bois. Entres autres:

**Bachelor et master en technique du bois HES**  
Haute école bernoise BFH, Architecture, bois et génie civil, Bienne

**Bachelor en foresterie HES, Master en sciences appliquées agronomiques et forestières**  
Haute école spécialisée bernoise, Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL

**Bachelor en technique de construction HES**  
Haute école de Lucerne (HSLU) – Technique & Architecture

**Bachelor en génie civil HES**  
Haute école technique de Rapperswil (HSR)

Aussi bien l'**EPFL** que l'**ETHZ** proposent des filières de bachelor et de master d'ingénieur en génie civil.

[www.epfl.ch](http://www.epfl.ch) > EPFL EN BREF > Enseignement  
[www.ethz.ch](http://www.ethz.ch) > Studium

## Newsletter

SimplyScience propose désormais une newsletter avec des informations captivantes sur les sciences naturelles et la technique. Il est possible de s'abonner à une version pour les enfants et adolescents ou une version pour les enseignants.

[www.simplyscience.ch/accueil.html](http://www.simplyscience.ch/accueil.html)

### Impressum

SATW Technoscope 2/14, septembre 2014  
[www.satw.ch/technoscope](http://www.satw.ch/technoscope)

Concept et rédaction: Beatrice Huber  
Collaborateurs rédactionnels: Felix Würsten, Samuel Schläfli  
Photos: Franz Meier, Fotolia, Empa, M. Rhonheimer  
Photo de couverture: Flavio Wanninger et Claude Leyder de l'Institut de statique des bâtiments et de la construction de l'ETH Zurich dans la halle de construction sur le site de l'ETH Höggerberg

**Abonnement gratuit et commandes**  
SATW, Gerbergasse 5, CH-8001 Zürich  
[technoscope@satw.ch](mailto:technoscope@satw.ch)  
Tél +41 (0)44 226 50 11

Technoscope 3/14 à paraître en décembre 2014.