

La forêt et le bois: des caractéristiques et des propriétés exceptionnelles face à l'effet de serre – quelques arguments décisifs

ERNST ZÜRCHER

Keywords: Carbon sequestration; sustainable management; wood properties; timber construction. FDK 181 : 84 : UDK 327.1 : UDK 504.3

1. Introduction

A la fin du mois de juin 2006, le Conseil national adopte, dans le cadre des engagements relatifs au Protocole de Kyoto, un prélèvement progressif (taxe CO₂) sur les combustibles, en fonction des émissions nocives (décision qui reste à confirmer par le Conseil des Etats à l'automne 2006). Il y a environ une année, un article paru sous le titre «Désillusion: la forêt ne sauvera pas la terre de l'excès de CO₂»¹ présente les derniers travaux sur la physiologie des arbres effectués à l'Université de Bâle, et dont la publication a trouvé un large écho (KÖRNER et al. 2005). La conclusion à laquelle ces recherches aboutissent, sur la base d'un dispositif de simulation unique au monde, est que pour des arbres adultes, le stockage global de dioxyde de carbone (CO₂) n'est pas sensiblement plus élevé lorsqu'ils se trouvent en atmosphère fortement enrichie de ce gaz à effet de serre. Ceci oblige de réviser d'autres travaux selon lesquels la forêt pourrait être stimulée à stocker davantage de carbone, dans la mesure où l'atmosphère en contiendrait plus. Par son titre et son commentaire, l'article en question suggère à tort que sa contribution à réduire les effets de serre provenant de notre surconsommation d'énergies fossiles est finalement négligeable.

En effet, de telles conclusions ne sont valables que pour une forêt laissée à elle-même dans son cycle naturel (comme c'est le cas dans les réserves intégrales), où le bois élaboré se décompose plus tard sur place en dégageant à nouveau le carbone temporairement stocké. L'accroissement moyen de tels peuplements est par ailleurs en-deçà du maximum possible, une part importante d'arbres traversant une très longue période de stagnation et de sénescence.

Quel est dès lors le rôle que peuvent jouer la forêt et le bois qu'elle produit dans le contexte des mesures à prendre contre le réchauffement climatique?

2. Sylviculture et gestion durable

En fait, la forêt suisse bénéficie dans son ensemble d'une sylviculture et d'une exploitation proches de la nature et durables, selon des critères qui ont longtemps servi de modèle. Dans un peuplement soumis au régime de la coupe progressive, l'amélioration qualitative et quantitative de la production a lieu tout d'abord par les interventions éducatives (soins aux jeunes forêts, suivi des éclaircies), puis par les interventions de régénération (qui ont lieu sur un laps de temps relativement restreint; SCHÜTZ 1990). Chaque intervention provoque une diminution temporaire du volume sur pied et réactive la croissance des arbres restants. A partir d'un certain stade des éclaircies, le bois prélevé entre dans le circuit économique, jusqu'aux coupes de la réalisation finale faisant place à un nouveau peuplement. Cette nouvelle génération peut en général apparaître progressivement par semis naturel, sous le couvert de la génération précédente (figure 1). Dans la forêt gérée selon le régime du jardinage, tous les stades de développement se trouvent présents sur le même

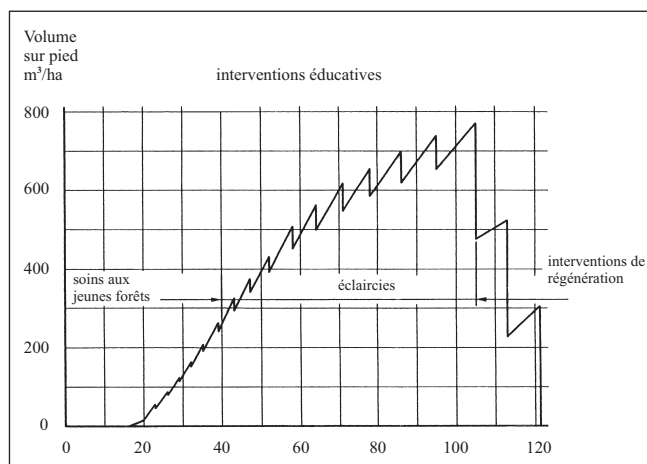


Figure 1: Développement du volume sur pied pour un peuplement traité en régime de coupe progressive, en fonction du genre d'intervention et de l'âge moyen.

SCHÜTZ 1990, reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur.

espace, ce qui accorde au paysage un caractère beaucoup plus permanent. Malgré des apparences d'immuabilité, un tel peuplement, s'il dispose par exemple d'un capital sur pied de 400 m³/ha et d'un accroissement de 10 m³/ha.an, permettra en 40 ans une exploitation de l'équivalent du capital sur pied, celui-ci étant resté globalement inchangé tout au long de cette période.

Dans ce contexte, il faut relever que le principe de durabilité est l'oeuvre de la foresterie d'Europe centrale, critère selon lequel le volume de bois exploité chaque année dans une forêt donnée (composée de différents peuplements) ne dépasse pas le niveau de l'accroissement moyen du massif pris dans son ensemble. Le moment de chaque prélèvement tient compte de l'évolution dynamique de la structure du peuplement, le prélèvement lui-même ayant l'effet d'activer la formation de bois dans la mesure où il empêche le peuplement d'entrer dans son stade final pratiquement improductif. «L'Homme ne se trouve donc pas ici face au biosystème (écosystème) «forêt», mais il constitue plutôt lui-même un maillon fonctionnel de ce système, puisqu'il intervient directement dans les processus naturels: d'une part, il assure des fonctions qui, dans le cas de forêts vierges (sans intervention humaine) reviendraient à d'autres acteurs ou facteurs organiques et abiotiques, d'autre part il bénéficie du rendement économique de ce qui serait sinon prélevé ou détruit par ces autres acteurs fonctionnels» (HENNIG 1986).

Par cette gestion, le bois – donc le carbone stocké – est soustrait au cycle naturel pour servir en premier lieu à la construction et accessoirement au chauffage. La première forme d'utilisation, qui se distingue radicalement des autres matériaux de construction très voraces en énergies fossiles,

¹ Journal Le Temps, du 26 août 2005.

permet de bâtir selon les technologies les plus modernes pouvant aller jusqu'à rendre le chauffage conventionnel (au mazout ou gaz) superflu (standards «Minergie»), et stocke de plus la masse de carbone de son bois pour la durée de vie de la maison nouvellement construite ou rénovée.

3. Comparaisons de matériaux

Il est intéressant de relever quelques spécificités du bois en tant que matériau et de le comparer à d'autres dans l'utilisation en construction.

- **Densité:** à performances égales, il est plus facile et avantageux de travailler avec un matériau relativement léger. Une fois séchés, les bois résineux ont une densité de 0,4 à 0,5 t/m³, les feuillus une densité de 0,5 à 0,7 t/m³, alors que le fer ou l'acier possèdent une densité 10 à 20 fois supérieure (7,87 t/m³).
- **Longueur de rupture:** la très haute résistance du bois par rapport à sa masse, ce qui en fait un matériau de construction exceptionnel, peut être exprimée par une grandeur à caractère fictif, correspondant à la longueur que pourrait avoir une barre sans défauts (sans noeuds, avec fibres parallèles) suspendue à un bout, avant de rompre sous l'effet de sa propre masse. Une telle barre en bois ne se déchire qu'à partir d'une longueur de 10 à 30 km, alors que pour de l'acier de construction, la rupture est déjà atteinte vers 4 à 8 km.
- **Conductivité thermique/isolation:** cette grandeur caractérise un matériau du point de vue de sa capacité de transmettre un flux de chaleur. Les valeurs élevées de conductivité thermique se trouvent chez les bons conducteurs de chaleur tels que les métaux (fer ou acier: $\lambda = 73,27 \text{ W/mK}$), alors que les mauvais conducteurs de chaleur constituent des isolants thermiques. Transversalement aux fibres, le bois ($\lambda = 0,14$ à $0,19 \text{ W/mK}$) retient ainsi 380 à 520 fois mieux la chaleur que l'acier. La conductivité thermique explique la différence de nos sensations au toucher du métal et du bois à la même température. Le métal nous paraît plus froid en hiver mais plus chaud en été que le bois: à cause de sa valeur λ élevée, le métal soustrait en hiver mais cède en été plus de calories à la main que le bois. Comparé au béton ($\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$), le bois est un isolant 11 à 15 fois supérieur; comparé à la brique creuse ($\lambda = 0,13$ à $0,33 \text{ W/mK}$), le rapport est en moyenne en faveur du bois à raison d'un coefficient de 1,4.
- **Capacité calorifique spécifique:** cette valeur (anciennement: chaleur spécifique) exprime la quantité de chaleur que peut absorber (ou dégager) un matériau donné en fonction de l'augmentation (ou diminution) de sa température. Pour le bois à température ambiante et à 10 % d'humidité, la valeur ($c_p = \text{env. } 1700 \text{ J/kgK}$) est 4 fois plus élevée que pour le fer/acier ($c_p = 452 \text{ J/kgK}$), et près de 2 fois supérieure à la brique ($c_p = \text{env. } 920 \text{ J/kgK}$).
- **Consommation d'énergie:** l'énergie utilisée dans le processus de la construction représente actuellement une problématique majeure, puisqu'elle est d'une part en grande partie d'origine fossile et engendre des dépendances, dégageant (dans le cas du pétrole, du charbon et du gaz) du gaz carbonique (CO₂) à effet de serre, et représente d'autre part un poste de dépense à tendance croissante. Ici également, la comparaison de variantes liées à différents matériaux utilisés illustre la grande marge de manœuvre disponible dans ce contexte. Le bilan total de l'énergie nécessaire pour l'obtention du matériau et pour la production par exemple de fenêtres mène aux rapports reproduits au *tableau 1*.²

Tableau 1: Bilan énergétique comparé.

Fenêtres (1,13 x 1,26 m)	Bois	Matière synthétique	Aluminium-bois	Aluminium
Besoins en énergie primaire	29,3 kWh	322,5 kWh	464 kWh	1300 kWh
Rapport en fonction du bois	1	11	16	44

Ce dernier exemple est explicite et peut être appliqué à tous les matériaux de construction possibles, où les variantes renouvelables peuvent être comparées à d'autres, plus avides en énergie. Pour les revêtements de sol, les matériaux synthétiques ou les stratifiés en panneaux de fibres de bois à parement imitation-bois peuvent être, par exemple, comparés aux parquets/planchers en bois massif. Pour les matériaux d'isolation, les variantes synthétiques (laine de verre, laine de roche, polystyrène) devraient être comparées aux variantes organiques telles que la cellulose ou la laine de lin, de chanvre ou de mouton. À l'aspect énergétique s'ajoute celui de la biocompatibilité des matériaux, qui acquiert une importance croissante: en effet, les fibres minérales artificielles, dont font partie la laine de verre et la laine de roche suscitent de vives discussions et font l'objet de recherches. Certaines fractions pouvant pénétrer par les voies respiratoires sont considérées comme particulièrement dangereuses pour la santé.³

4. Innovations

Bien que déjà doté de ces caractéristiques avantageuses, le bois et ses produits dérivés sont constamment sujets à de nouveaux développements technologiques. Une firme autrichienne (THOMA 2003) a par exemple fait breveter un système d'assemblage technique de planches de bois brut de scierie en multi-couches maintenues par des chevilles transversales en bois également, se bloquant par égalisation hygroscopique. Ceci permet de préfabriquer des parois, dalles ou panneaux de toiture d'une épaisseur allant de 25 à 40 cm, constituées à 100 % de bois (Holz100), c'est-à-dire ne comprenant ni colle ou résines, ni éléments métalliques d'assemblage. Ce système suscite un vif intérêt jusqu'au Japon.

Des propriétés étonnantes découlent en effet de ce système original faisant au maximum appel au matériau bois (dont les qualités supérieures propres aux régions de montagne sont utilisées en priorité). Ces parois et dalles compactes possèdent une résistance à la combustion exceptionnelle, sont extrêmement performantes du point de vue statique et permettent d'atteindre de hauts niveaux d'atténuation phonique. Du fait que les planches de l'intérieur, non rabotées, sont séparées par de minces films d'air, une telle paroi possède une valeur de conductivité thermique extrêmement basse ($\lambda = 0,078 \text{ W/mK}$), avoisinant celle des matériaux isolants usuels devant être ajoutés aux structures porteuses conventionnelles.

Le paramètre actuellement utilisé pour caractériser les propriétés d'isolation thermique d'une paroi en tant que système à plusieurs composantes est le coefficient de transmission thermique U, exprimé en $\text{W/m}^2\text{K}$ et représentant la

² Informationssystem für Bauen, Wohnen, Sanieren. Tirol, Österreich: <http://www.baustein.at/> (15 novembre 2006).

³ Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2004: www.bayern.de/lfu/umwberat/data/prod/kmf_2004.pdf (15 novembre 2006).

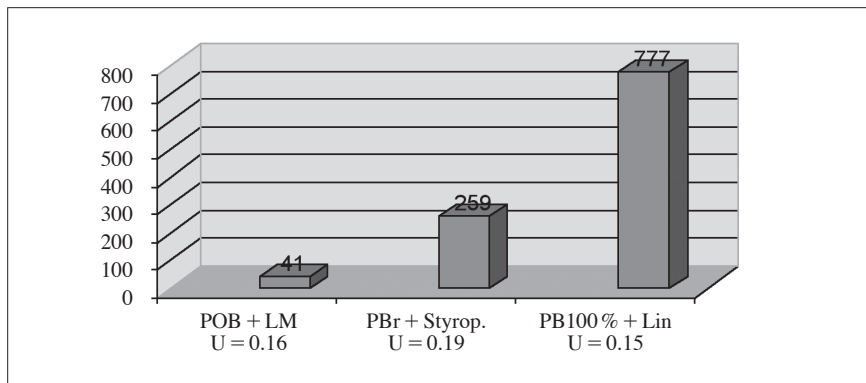


Figure 2: Temps de refroidissement (en h) selon les types de parois (THOMA 2003).

Paroi à ossature-bois avec isolation en laine minérale	U = 0,16	0°C après 41 h
Paroi de briques poreuses, 38 cm + 10 cm polystyrène	U = 0,19	0°C après 259 h
Paroi 100 % bois, 36,8 cm + 10 cm isolation de lin	U = 0,15	0°C après 777 h, soit 32 jours!

quantité de chaleur traversant en une heure un m² de paroi et par degré de différence de température. Une valeur de U élevée caractérise de grandes déperditions de chaleur, alors que les nouveaux standards Minergie et Minergie-P/Maison passive exigent une valeur de U inférieure à 0,20, respectivement à 0,15 W/m²K, laissant le libre choix pour les structures porteuses et les matériaux d'isolation. Le but de ces standards est en effet de limiter entre autres les besoins en énergie de chauffage à un seuil de 20 % par rapport à la norme SIA, et de promouvoir l'utilisation d'énergies alternatives.

Des expériences intéressantes basées sur ces critères de référence permettent de mettre en évidence les possibilités inattendues atteintes par du bois massif structuré de la façon décrite plus haut.

5. Expériences sur la qualité thermique de l'habitat

Trois types de parois à coefficients U équivalents (correspondant aux critères Minergie) sont soumis à la situation expérimentale suivante: période hivernale, température extérieure de -5°C, température intérieure de 21°C, départ des locataires avec arrêt du chauffage, chute de la température extérieure à -10°C. Question: après combien de temps la face intérieure de la paroi a-t-elle atteint 0°C? Résultats cf. figure 2.

Ces différences considérables sont dues au fait que la paroi légère à ossature-bois doublée d'une isolation en laine minérale, bien que présentant un coefficient U très bas, ne stocke que très peu de chaleur, contrairement aux deux autres types de parois. Le refroidissement trois fois plus lent pour la paroi 100% bois, en comparaison avec la paroi de briques, s'explique par le fait que le système à base de bois massif ne perd sa chaleur accumulée que beaucoup plus lentement et s'oppose à la pénétration du froid. Cette grande résilience thermique permet d'interrompre le chauffage en phase nocturne et de retrouver des pièces tempérées le matin, les parois n'étant que très faiblement refroidies.

Ce nouveau concept de construction basé sur du bois massif intégré dans une nouvelle technologie permet de réduire les besoins d'énergie de chauffage à un minimum. Pour donner un ordre de grandeur possible, l'auteur mentionne une étude comparative de maisons «passives» à mêmes coefficients d'isolation, mais construites l'une en ossature bois, l'autre en parois massives bois: pour la première variante, les besoins d'énergie de chauffage par année montent à 10,6 kWh/m², alors que pour la seconde, 6,8 kWh/m² par année suffisent, soit 1/3 de moins (THOMA 2003).

Selon ce nouveau concept, une maison peut facilement être chauffée de manière traditionnelle avec du bois en bûches, avec des plaquettes ou des copeaux ou encore avec des granulés ou des pellets très denses en énergie (2 kg = 1 l de mazout), tous trois écologiques et économiques (par réseaux de proximité). Les quantités nécessaires ne sont ici plus qu'une fraction de ce à quoi l'on est habitué.

6. Bilans de carbone

La forêt prélève le CO₂ de l'atmosphère et l'investit dans la formation du bois, à raison de 1,851 kg de CO₂ par kg de bois sec. Lorsque nous en fabriquons des produits à longue durée de vie tels que des meubles ou des maisons, le carbone (C) reste stocké à raison de 250 kg par m³ de bois. Une famille optant pour la construction d'une maison en bois contribue ainsi à décharger l'atmosphère de 20 à 30 000 kg de carbone (auxquels il faut soustraire l'énergie nécessaire à l'élaboration, émissions mesurées en termes d'équivalent-CO₂). Si elle décide de se chauffer au bois ou à l'aide d'une autre forme d'énergie renouvelable, ce choix sera neutre par rapport au cycle du carbone (déduction faite des équivalents-CO₂ pour les installations).

Au vu de ces différents aspects liés aux propriétés des matériaux, à leur origine, à leurs potentiels ou besoins en énergie, ou encore aux possibilités de les combiner en systèmes spécifiques, nous réalisons donc que de hauts standards d'isolation ne suffisent pas encore à garantir un bilan écologique positif. En effet, une étude (citée dans THOMA 2003) démontre que pour le cas d'une maison passive (à faible besoin en chauffage) en béton, briques, laine minérale ou isolants de mousse synthétique, la construction peut dégager un équivalent-CO₂ de l'ordre de 150 000 kg de CO₂ et constitue ainsi une charge pour l'atmosphère. Si les besoins d'énergie thermique, effectivement très bas, devaient être couverts par un chauffage à gaz, il faudrait y ajouter environ 100 000 kg d'équivalents-CO₂ pour la période d'utilisation totale (100 ans).

7. Conclusion

La forêt, gérée selon une sylviculture de qualité, peut donc contribuer, par l'intermédiaire de la matière première 'bois' représentée par toute la gamme de ses essences et propriétés spécifiques, à la mise en place progressive d'un secteur de la construction et de la rénovation à caractère réellement durable. Une telle filière permet de réduire notre empreinte éco-

logique et constitue un des moyens effectifs et décentralisés de lutter contre l'effet de serre.

Il est nettement plus simple, plus utile et plus créatif d'utiliser ainsi la forêt comme «pompe à carbone» pour le stocker dans du logement, que d'essayer dans quelques années ou décennies (tel que suggéré dans l'article sur les travaux de KÖRNER *et al.* 2005) de réinjecter cet élément dans le sous-sol, ou encore au fond des mers, au moyen d'une future technologie elle-même énergivore, sans avoir touché aux vraies sources du problème.⁴

8. Le paradoxe et le potentiel

La forêt suisse, produisant notre principale matière première renouvelable, est actuellement la plus dense d'Europe mais est sous-exploitée à raison de 5 millions de m³ par année, face à l'accroissement total qui est de 10 millions de m³ (RAPPORT FORESTIER 2005)!

Si la production alimentant la filière-bois montait à 7 millions de m³, ceci représenterait 1 m³ par habitant et par année, soit 80 m³ par personne pour une espérance de vie moyenne de 80 ans. Chaque famille de 4 personnes dispose donc à un moment donné d'un volume de bois rond de 320 m³, ce qui représente un bloc de 10 mètres de côté et de 3,2 m de haut.

Plutôt que d'en promouvoir principalement l'utilisation indifférenciée comme source d'énergie pour le chauffage intensif de la sphère habitée, le vrai potentiel dont nous disposons maintenant est d'investir le maximum de ce bois dans des systèmes de construction et de parois massifs, effectivement performants pour un habitat de qualité. Ce potentiel peut permettre l'épanouissement d'une économie forestière et du bois décentralisée et réellement durable sur les plans écologique, économique, social et culturel.

Résumé

Face aux défis environnementaux liés au phénomène du réchauffement climatique, les derniers développements de la recherche sur le stockage du carbone par la forêt semblent offrir une perspective mitigée. Un autre tableau s'en dégage si l'on conçoit le massif boisé au bénéfice d'une gestion active selon le principe du rendement soutenu et durable. L'examen des propriétés du bois comme matériau de construction, comparativement à d'autres matériaux, permet de dégager les avantages décisifs de ce matériau multifonctionnel, à la fois du point de vue de la physique de la construction et du point de vue des bilans écologiques. De nouveaux systèmes de construction en bois massif permettent de combiner et d'amplifier encore ces avantages de façon inattendue.

Zusammenfassung

Wald und Holz: ausserordentliche Merkmale und Eigenschaften bezüglich Treibhauseffekt – einige entscheidende Argumente

Gegenüber der Klimaerwärmungsproblematik scheinen die letzten wissenschaftlichen Entwicklungen im Bereich der Kohlenstoffspeicherung durch den Wald eher enttäuschende Perspektiven zu liefern. Ein anderes Bild entsteht, wenn der Bestand sich in einer aktiven Bewirtschaftung befindet, nach dem Prinzip der nachhaltigen Nutzung. Die Darstellung der

konstruktionsbezogenen Holzeigenschaften, im Vergleich mit anderen Materialien, ergibt entscheidende Vorteile für diesen multifunktionalen organischen Werkstoff, sowohl auf der Ebene der Bauphysik, wie auch im Bereich der ökologischen Bilanzen. Neue Massivholzbausysteme erlauben es, diese Vorteile in unerwarteter Weise zu kombinieren und noch zu erhöhen.

Summary

Forest and wood: some decisive arguments for characteristics and exceptional properties regarding global warming

In the context of the environmental problems linked to global climatic change, the latest research developments in the field of carbon sequestration through the forest seem to offer a mitigated perspective. Another picture appears if the stand is placed under active management, according to the principle of sustained yield. The presentation of the wood properties relevant for construction, compared to other building materials, enables us to define decisive advantages, both at the physical and at the ecological contribution level of this multifunctional material. New construction techniques with massive wood lead to a combination and even to an unexpected amplification of these advantages.

Références

- HENNIG, R. 1986: Nachhaltigkeitsprinzip, Organismusidee und Organik als Beiträge der Forstwissenschaft zur Philosophie. *Philosophia Naturalis* 23, 1: 123–138.
- KÖRNER, C.; ASSHOFF, R.; BIGNUCOLO, O.; HÄTTENSCHWILER, S.; KEEL, S. G.; PELÁEZ-RIEDL, S.; PEPIN, S.; SIEGWOLF, R.T.W.; ZOTZ, G. 2005: Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO₂. *Science* 309: 1360–1362.
- RAPPORT FORESTIER 2005: Faits et chiffres sur l'état de la forêt suisse. Éd. par OFEFP, WSL, Bern, Birmensdorf, 151 p.
- SCHÜTZ, J.-P. 1990: Sylviculture 1. Principes d'éducation des forêts. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- THOMA, E. 2003: Für lange Zeit. Leben und Bauen mit Holz. Chr. Brandstätter Verlag, Wien.
- Voir <http://www.thoma.at/html/deutsch/index1.html> (15 novembre, 2006).

Auteur

Dr. ERNST ZÜRCHER, Division Bois, Haute école spécialisée bernoise, Haute école d'architecture, de génie civil et du bois HSB, Route de Soleure 102, Case postale 6071, CH-2500 Bienne 6. E-mail: Ernst.Zuercher@bfh.ch.

⁴ Voir discussions sous:

The Oil Drum: Weyburn, CO₂ Injection and Carbon Sequestration: <http://www.theoil Drum.com/story/2005/12/12/18171/178> (15 novembre 2006).