

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

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

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


foretnature.be

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

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

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

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



NOTRE FAÇON DE CONDUIRE LES ÉCLAIRCIES A ÉVOLUÉ CES 50 DERNIÈRES ANNÉES : ET POURQUOI ?

JEAN-PHILIPPE SCHÜTZ

Avec les chutes dramatiques des rendements forestiers, les concepts de conduite des jeunes peuplements, qui en raison du grand nombre de tiges étaient excessivement coûteux, ont dû être reconsidérés. Il s'avère aujourd'hui nettement plus efficient économiquement d'utiliser les forces naturelles de différenciation sociale et laisser la nature exprimer les potentiels naturels de différenciation sociale gratuits. Des interventions conformes à ces rationalisations biologiques permettent de diminuer considérablement les coûts de telles opérations.

En Europe continentale, l'éclaircie représente sans doute l'intervention principale en sylviculture, et le professionnel peut se poser la question si cela ne relève pas à l'arrière-plan d'autres mesures sylvicoles de valorisation tout aussi performantes, sinon plus, telles que la bonne conduite du renouvellement, utilisant les effets du dosage de la lumière sur la densité et la bonne structuration des futurs peuplements. Un regard critique sur l'application de la sylviculture dans notre pays démontre une sorte d'obnubilation autour de l'éclaircie et, plus encore, des soins aux jeunes peuplements, au détriment de la bonne conduite du renouvellement. Cela provient peut-être du fait qu'une bonne conduite de la régénération demande des qualités d'observation, de patience et tout simplement de compétences sylvicoles

bien plus élevées que celle de définir des concurrents pour les éliminer. Il y a aussi d'autres méthodes plus techniques d'amélioration de la valeur telles que l'élagage artificiel qui, dans le cas de conifères par exemple, conduit à une amélioration de valeur économique largement plus efficace que celle due à l'ensemble des éclaircies. SCHÜTZ *et al.*²² montrent à l'exemple du douglas que l'élagage contribue à une augmentation nette de la valeur finale de 47 %. L'efficacité d'une telle mesure ne fait dès lors aucun doute.

L'AVÈNEMENT HISTORIQUE DE L'ÉCLAIRCIE

La pratique de l'éclaircie est née vers la fin du XX^e siècle. Il s'agissait, d'une part, d'anticiper la mortalité naturelle due à la surdensité, qui conduisit à l'éclaircie par le bas, de tradition germanique. Et, d'autre part, d'interventions vigoureuses de libération des houppiers, suite logique des essais danois de conduite des peuplements de hêtre de REVENTLOW¹² (en 1818) appelée à l'époque éclaircie danoise et reprise plus tard par l'école française de sylviculture⁵ (en 1901) sous la dénomination d'éclaircie par le haut. Ces deux tendances diamétralement opposées, de favoriser soit plutôt la densité des peuplements en profitant de l'effet de masse qu'elle confère, ou alors de libérer les couronnes et agir sur le grossissement de la tige et l'équilibre des houppiers, vont influencer durablement les conceptions d'éclaircie jusqu'à aujourd'hui. En effet, si les concepts d'éclaircie sont bien reconnus aujourd'hui en termes de genre d'interventions, la question de savoir s'il faut intervenir vigoureusement ou modérément, à partir de quand et jusqu'à quel moment de la vie

du peuplement fait l'objet de propositions encore bien contrastées, entre les tenants de favoriser l'effet de masse^{11, 23} et ceux de forte libération des houppiers^{4, 25} et d'une sylviculture dite d'arbres.

LE RÔLE DE PIONNIER DE LA SYLVICULTURE SUISSE EN MATIÈRE DE CONCEPTS D'ÉCLAIRCIE

L'école suisse de sylviculture a toujours exercé une influence prépondérante et avant-gardiste sur le développement des concepts d'éclaircie, avec un premier pas décisif dû à Walter Schädelin^{14, 15} et la formulation de l'éclaircie dite sélective, élevant l'effet de l'éclaircie à une mesure d'amélioration fondée sur la sélection phénotypique, visant à ennoblir la production en promouvant la qualité (« *Vereidlung* » est le terme utilisé par Schädelin) et intervenant de façon efficace, c'est-à-dire de façon positive et principalement dans les classes sociales plutôt élevées, notamment les codominants. Aujourd'hui, les sylviculteurs s'accordent à reconnaître très largement la valeur de l'éclaircie conçue comme mesure d'influence bénéfique et biologiquement efficace du développement, au contraire de l'éclaircie par le bas pratiquée encore largement en Suisse jusqu'au milieu du XX^e siècle. Cette dernière n'avait que peu d'effet sur le développement, dans la mesure où l'élimination exclusive des arbres socialement inférieurs est relativement peu efficace en ce qui concerne les classes sociales les mieux loties. En Allemagne, l'éclaircie sélective commence à percer véritablement dans la pratique sous l'impulsion des propositions de Peter Abetz¹ d'éclaircie sélective d'arbres de place (« *Z-Baum-Auslesedurch-*

forstung») à partir des années '80 (figure 1). Abetz avait d'ailleurs repris les idées développées à l'école forestière de Zurich lors d'un stage à l'institut de sylviculture de Leibundgut (comm. pers.). La seule différence consistait à focaliser les interventions améliorantes sur un nombre fixe d'arbres, les arbres d'avenir ou « *Zukunftsbäume* », considérés comme constituant le peuplement final. Les propositions de nombre optimal d'arbres de place ont cependant varié considérablement. Dans le cas de l'épicéa, elles allaient de 450 par hectare à l'origine pour descendre successivement vers 250, voire 220 aujourd'hui. Cela dénote bien ici le même dilemme entre les deux tendances exprimées plus haut. Dans le cas des feuillus, le hêtre par exemple, les propositions de nombre d'arbres de place à favoriser abondent, allant jusqu'à seulement 60 tiges par hectare, ce qui paraît loin en dessous du raisonnable,

comme nous allons le montrer plus loin. Les conséquences de ce choix sur la pratique et finalement sur le coût des interventions sont évidemment importantes.

APPLICATION DES PRINCIPES DE SÉLECTION POSITIVE AUX SOINS AUX JEUNES PEUPELEMENTS

On doit à Leibundgut la généralisation des interventions sylvicoles positives au traitement des jeunes peuplements, ciblées sur des arbres candidats, incluant ainsi l'effet de bénéfice sélectif¹⁰. Précédemment, leur traitement ne consistait qu'à des mesures de réglage de la densité en plein et sans objectif de sélection, avec de surcroît l'élimination parfois des « lousps » (dominants de médiocre qualité). La notion de « lousps » est cependant assez subjective et assez floue et leur élimination systématique peut

Figure 1 – Exemple d'éclaircie sélective avec marquage des arbres de place.



conduire à des dérives parfois néfastes, car supprimant des arbres en principe à bon potentiel de développement.

Le forestier s'est petit à petit rendu compte que préférer la qualité (quelle que soit la position sociale) n'était pas la solution optimale et que le compromis entre croissance et qualité allait à l'avantage du potentiel de croissance. La pratique systématique de tels soins aux jeunes peuplements, à périodicité relativement courte, de trois à quatre ans, s'est instaurée en Suisse à la fin des années '60 avec la mise en place de la formation technique, notamment dans les écoles de gardes forestiers. Cela pouvait se comprendre en termes de biologie du développement, mais la fréquence et l'intensité des telles interventions s'avèrent, aujourd'hui, exagérées. Cela conduit à des coûts de soins cultureux de plus en plus prohibitifs, à mesure que les salaires forestiers se sont améliorés et alignés aux salaires des professions comparables. L'évidence d'interventions répétées à brève périodicité sur le plan du bon développement n'est pas véritablement avérée. Aujourd'hui, les ardeurs interventionnistes ont tendance à être plus tempérées afin de mieux laisser la nature exprimer les différences de structuration sociales.

EFFICIENCE DES COÛTS ET RATIONALISATION BIOLOGIQUE

L'heure de vérité pour les principes d'éclaircie et, à plus forte raison encore, pour les interventions culturelles dans les jeunes peuplements commence au début des années '90 avec la dérive défavorable des résultats de gestion forestière vers la zone déficitaire, en raison de la disproportion toujours plus marquée entre coûts

et résultats de vente des produits. Cette nouvelle dimension économique change évidemment radicalement les rapports de performance. Il a fallu se rendre à l'évidence que les interventions de soins aux jeunes peuplements pesaient lourd dans la balance des déficits financiers.

À la recherche de solutions autres que le subventionnement, il fallut remettre en question un certain nombre de principes dans une optique plus d'opportunité que de déterminisme, en réfléchissant à ce que le développement naturel produit spontanément gratuitement, et de mieux concevoir les interventions comme aide prolongeant les effets favorables du développement naturel et atténuant les effets néfastes. C'est le fondement de ce qui est appelé les rationalisations biologiques¹⁷ utilisant les deux principes de l'automation biologique et de la concentration sur l'essentiel, par exemple en focalisant particulièrement, voire uniquement, sur les arbres de place.

En analysant de plus près la structure sociale des peuplements, il peut être constaté que les positions sociales sont très remarquablement stables (figure 2). Elles expriment principalement le potentiel évolutif des individus. Dans tout collectif se trouvent des arbres potentiellement dominants, qui le restent, tout comme ceux qui n'ont aucune chance de s'élever socialement. Plus la position sociale des individus est élevée, mieux ils se maintiennent spontanément et moins ils nécessitent d'aide. Ammann² a démontré que cela valait quel que soit le traitement antérieur. Mieux, il existe dans des perchis intouchés depuis leur création un nombre suffisant d'arbres à bon houppier, stables et potentiellement valables pour constituer un collectif de candidats suffisamment large.

Cela signifie qu'il faut davantage prendre en compte la structuration sociale et mieux l'utiliser comme critère de sélection³. À la limite, il vaut mieux laisser faire le développement naturel que le contrecarrer en voulant homogénéiser. Cette phase dite de compression peut durer assez longtemps. Tant que le nombre d'arbres est suffisant, les interventions trop précoces doivent être évitées. Ainsi, il est possible de renoncer assez largement aux interventions dans les recrûs et gaulis. Reste alors la question de savoir quand intervenir la première fois.

Les résultats de l'essai d'éclaircie de Neuendorf installé dans une plantation de douglas de 11 ans en 1977 et comprenant trois fois deux variantes de traitement confirment l'invariance dimensionnelle des prédominants. La distribution des nombres de tiges à l'âge de 41 ans après cinq interventions (figure 3) montre que l'éclaircie n'a pratiquement pas d'effet sur les catégories les plus larges (les dominants). Il y a par contre une grande

différence de nombre dans les diamètres médians entre les deux blocs (éclaircies modérées et éclaircies fortes) à l'avantage des interventions modérées.

LA MÉCANISATION DES INTERVENTIONS D'ÉCLAIRCIE

L'arrivée des récolteuses (*harvesters*), en gros depuis la tempête Lothar (en 1999), semble résoudre la question des coûts déficitaires des interventions d'éclaircie. Cela mérite cependant une analyse quelque peu différenciée. D'abord, notre pays n'est accessible aux récolteuses que dans une proportion estimée à 55 % dans le cas du Plateau suisse⁷. Ensuite, l'intervention de telles machines, tout de même assez lourdes et encombrantes, demande une organisation spatiale rigoureuse avec la création de layons de travail denses (tous les 25-30 mètres) et suffisamment larges (4 mètres), ce qui peut conduire dans les très jeunes peuplements à haute densité de tiges à des interventions traumatisantes pour la stabilité. Pour des raisons de rentabilité, les machines poussent « à bouffer du bois » à l'inverse des rationalisations biologiques¹⁹ qui ne prélèvent que l'essentiel, c'est-à-dire uniquement autour des arbres de place et uniquement pour ce qui est strictement nécessaire, compte tenu du potentiel d'autodéveloppement des dominants (interventions dites situatives). L'utilité des machines ne nous paraît donc raisonnable qu'à partir du stade de jeune futaie dans le meilleur des cas. Il faut convenir que l'évolution des techniques de récolte mécanisée, de même que la meilleure rentabilité d'exploitation du bois-énergie ont bien changé ces dernières années, notamment dans les cas des feuillus, et par conséquent a reculé nette-

Figure 2 – Structuration sociale d'un collectif où la différenciation sociale exprime surtout les différences de potentiel de croissance. Il convient de favoriser au mieux cette différenciation pour en tirer l'avantage de la spontanéité naturelle de développement.



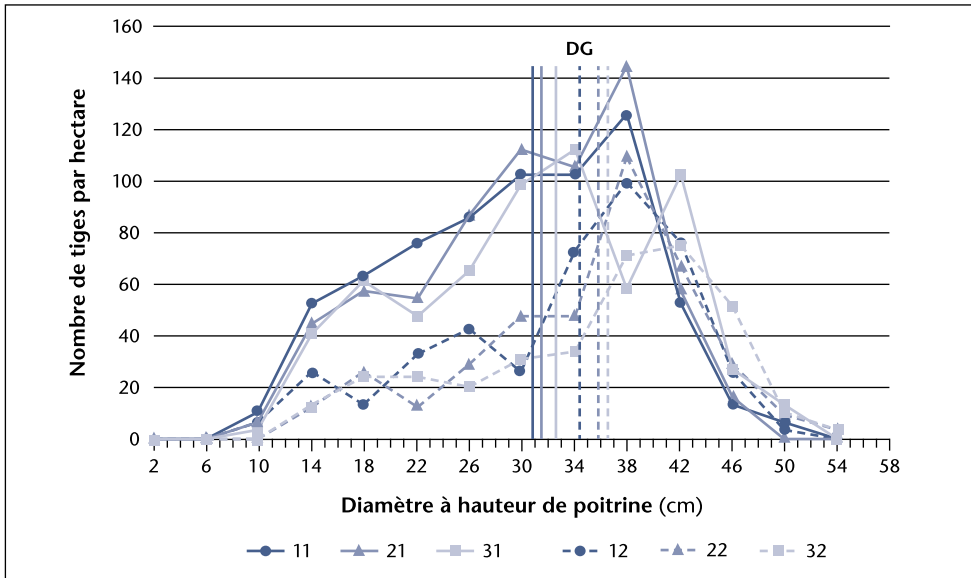


Figure 3 – Distribution des nombres de tiges restantes à l'âge de 41 ans après cinq interventions d'éclaircies entre les six variantes de traitement de l'essai d'éclaircie du douglas de Neuendorf²². Bloc 1 (interventions modérées avec un degré de plénitude naturel de 0,73, variantes 11, 21, 31 ; en traits pleins) et interventions fortes (bloc 2 ; avec un degré de plénitude naturel de 0,52, variantes 12, 22, 32 ; en pointillés). DG = diamètre quadratique moyen.

ment le seuil de rentabilité d'engagement des récolteuses.

De surcroît, il existe des alternatives économiquement raisonnables pour l'élimination des concurrents. Ce qui coûte véritablement est de mettre les concurrents abattus à plat au sol, les ébrancher et, pour autant qu'ils puissent être commercialisés, de les sortir du peuplement. Tout cela peut s'économiser en se contentant d'une dévitalisation mécanique par un débitage grossier en quelques coupes obliques, ou par annelage à la serpe (ou à la gouge à anneler), et en laissant debout les arbres ainsi traités¹³. Cela permet de réduire les coûts de traitement dans un rapport de dix à quinze fois par rapport aux interventions d'antan.

L'avantage de l'annelage est de pouvoir enlever plus de concurrents que dans une intervention classique, car la mort n'est pas instantanée et les arbres éliminés continuent de protéger le fût des arbres de place, puisqu'ils restent debout plusieurs années avant de se décomposer naturellement. Ainsi, une seule opération est envisageable avant la première éclaircie mécanique.

INTENSITÉ ET OPTIMISATION DU RÉGIME DES INTERVENTIONS

Une façon relativement reconnue de mesurer les performances d'un régime d'éclaircie est de déterminer l'évolution de l'accroissement moyen en valeur, dé-

Figure 4 – Interventions d'élimination des concurrents en coupe oblique dans les perchis. Le matériel débité en quelques découpes à la tronçonneuse reste debout dans le peuplement. Coût de l'opération : 5-10 heures par hectare, soit 9 % de la durée d'une intervention classique.



terminé par la valeur nette de la production (peuplement restant et somme de produits prélevés en éclaircie). C'est la voie classique de détermination du rendement économique momentané. Ce n'est cependant pas le seul critère à prendre en considération. Les questions de stabilité, par exemple, peuvent influencer le rendement économique, mais il est difficile d'en prévoir l'importance. En effet, la stabilité dépend de facteurs différents selon les phases de vie. Il s'agit en gros des dégâts de neige dans les jeunes peuplements⁸. Leur incidence est assez relative, car il reste en général suffisamment de tiges pour reconstituer le peuplement. Ce sera surtout en fin de développement que le critère stabilité à l'égard des tempêtes prend de l'importance. C'est en ef-

fet alors, au moment du renouvellement, que la bonne stabilité permettra d'engager une régénération différée et décalée dans l'espace et le temps pour obtenir naturellement des peuplements mélangés et structurés. Il en va de même pour l'option stratégique de changer le régime et pour passer à la futaie jardinée. La stabilité sera dans ce cas une condition préliminaire indispensable pour ce faire, et ceci assez tôt dans la vie du peuplement (à mi-période de vie) où doivent commencer les opérations de conversion¹⁶.

Les données de l'essai d'éclaircie du douglas de Neuendorf (déjà cité) ont permis de construire un modèle fiable de simulation du développement, car sensible à des interventions d'intensité fort diffé-

rente, dans l'esprit des modèles de développement catégoriels comme *SiWaWa** utilisé dans d'autres études^{20, 21}. *SiWaWa* rend une distribution des arbres du peuplement par catégories de diamètre. Un module récemment développé permet de déterminer les assortiments, sur la base des coefficients de forme. En incorporant les fonctions du simulateur d'exploitation *HeProMo*⁶, la valeur nette de réalisation pour des conditions actuelles d'exploitation faciles (exploitation par récolteuse et porteur dans la plage de grosseur 40-60 cm de diamètre, et manuelle avec porteur pour les gros bois) peut être déterminée. À l'exemple du douglas, la figure 6 montre l'évolution de l'accroissement moyen

en valeur nette pour différentes variantes de densité constante (en pour cent de la densité maximale des peuplements laissés sans interventions). Les résultats sont parfaitement parlants : plus le peuplement reste dense, meilleure est la production en valeur. Par ailleurs, pour les peuplements traités, la productivité optimale n'est pas encore atteinte à l'âge de 105 ans, puisque l'accroissement en valeur n'a pas encore culminé. Cela démontre clairement l'importance de révolutions élevées ainsi que de l'effet de masse sur la production. Cela vient modérer de surcroît les ardeurs d'interventions trop incisives.

D'autres simulations montrent que des interventions précoces diminuent la productivité, mais assez légèrement (de 10 %

* www.siwwa.org (5.11.2014).

Figure 5 – Élimination des concurrents par annelage simple (sans application de phytotoxiques). Coût de l'opération : 15 heures par hectare, soit 19 % de la durée d'interventions classiques.



environ). Par contre l'effet d'interventions d'éclaircie prononcées en jeunesse (30 % de la surface terrière) se fait sentir sur la valeur nette du peuplement final (à 105 ans) qui augmente de 18 % par rapport à un régime d'éclaircies tardif conduisant à la même densité finale²².

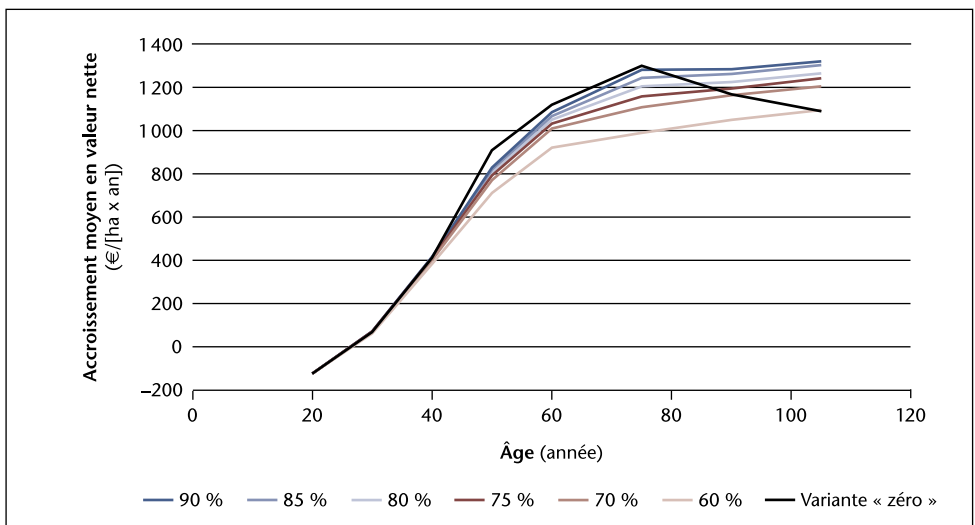
CONCLUSIONS

En considérant, dans le cas d'essences sensibles à la dislocation par les tempêtes, comme l'épicéa, l'effet favorable qu'exerce un régime d'éclaircies fortes sur la stabilité, il apparaît juste de proposer un régime d'éclaircies vigoureuses au stade de la jeune futaie et qui continue jusqu'en phase de renouvellement. Cette meilleure stabilité est due essentiellement au bon ancrage du système racinaire, tel que démontré

expérimentalement par Vanomsen²⁴ qui s'avère 1,7 fois plus stable à l'arrachement que dans le cas d'éclaircies faibles.

En effet, le régime d'éclaircie ne doit pas se mesurer seulement sur un peuplement monospécifique et uniquement sur une seule génération, mais dans une conception globale du traitement sylvicole. Déjà LEIBUNDGUT *et al.*⁹ avaient démontré, à l'exemple de l'essai d'éclaircie du Sihlwald, que, dans le cas du hêtre, les éclaircies vigoureuses favorisaient le mélange d'essences précieuses, ce qui contribuait à augmenter très sensiblement la production en valeur. Nous avons également mis en évidence après l'ouragan Lothar, l'effet favorable du mélange de feuillus sur la stabilité des peuplements d'essences sensibles comme l'épicéa¹⁹. Nous pouvons donc proposer aujourd'hui

Figure 6 – Évolution de l'accroissement moyen en valeur nette de peuplement de douglas simulée pour des interventions conduisant à une densité constante par rapport à la densité maximale (variante « zéro »), à l'aide du simulateur SiWaWa développé pour le douglas sur la base des essais d'éclaircies de Neuendorf²².



de pratiquer une première intervention situative, au perchis, en laissant les arbres concurrents morts debout, puis au stade de la jeune futaie de pratiquer (à intervalle d'environ 8 à 15 ans) des interventions prononcées au début, pour profiter de la bonne réaction des peuplements et aboutir à conformer un peuplement apte à être renouvelé autrement qu'en coupe définitive rapide, par peur de la dislocation par les tempêtes.

L'effet favorable du nombre d'arbres que démontrent les simulations ne doit pas être suivi aveuglément. Les simulations ne sont pas en mesure de bien caractériser ni les questions de risques, ni celles d'utilisation du potentiel individuel de production en phase de maturation et de renouvellement différé, deux facteurs importants de prolongement de la production. L'exemple du jardinage nous démontre par ailleurs que les effets compensatoires entre ouverture du peuplement et accroissement s'équilibrent remarquablement puisque la futaie jardinée produit tout autant en volume et apparemment nettement plus en valeur, en raison de l'avantage des gros bois de qualité¹⁶. Le forestier doit se donner les conditions de base propices à une gestion polyvalente et éclaircie y contribue. ■

BIBLIOGRAPHIE

- ¹ ABETZ P. [1975]. Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen. *Allg. Forst. Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge* **30** : 666-667.
- ² AMMANN P. [2004]. *Untersuchung der natürlichen Entwicklungsdynamik in Jungwaldbeständen : Biologische Rationalisierung der waldbaulichen Produktion bei Fichte, Esche, Bergahorn und Buche*. Zürich, Eidg Techn Hochschule, PhD Thesis 15761, 342 p.
- ³ AMMANN P. [2013]. Erfolg der Jungwaldpflege im Schweizer Mittelland ? Analyse und Folgerungen. [Essay]. *Schweiz. Z. Forstwes.* **164** : 262-270. doi: 10.3188/szf.2013.0262
- ⁴ BASTIEN Y. [1997]. Pour l'éducation du hêtre en futaie claire et mélangée. *Rev. For. Fr.* **49** : 49-68.
- ⁵ BROILLARD C.H. [1901]. Des résultats de l'éclaircie. *Rev. Eaux For.* **40** : 1-10.
- ⁶ FRUTIG F., THEES O., LEMM R., KOSTADINOV F. [2009]. Holzernteproduktivitätsmodelle He-ProMo ; Konzeption, Realisierung, Nutzung und Weiterentwicklung. In : THEES O., LEMM R., ed. *Management zukunftsfähige Waldnutzung*. Zürich, VDF, p. 441-466.
- ⁷ HOFER P., TAVERNA R., KAUFMANN E. [2000]. Charakterisierung der Starkholzvorkommen nach Nutzungsparametern. In : Eidg Forstdirektion. *Starkholz : Problem oder Chance ? Eine Standortbestimmung*. Bern, Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, p. 37-82.
- ⁸ IVANOV D.E. [2007]. *Stabilité et résistance individuelle et collective et phénomène de désintégration collective face aux sollicitations de neige lourde au sein de peuplements de pin sylvestre (Pinus sylvestris L.)*. Zürich, Eidg Techn Hochschule, PhD Thesis 17513, 237 p.
- ⁹ LEIBUNDGUT H., AUER C., WIELAND C. [1971]. Ergebnisse von Durchforstungsversuchen 1930-1965 im Sihlwald. *Mitt Eidgenöss Forsch. anst Wald Schnee Landsch* **47** : 259-389.
- ¹⁰ LEIBUNDGUT H. [1976]. Grundlagen zur Jungwaldpflege : Ergebnisse zwanzigjähriger Untersuchungen über die Vorgänge der Ausscheidung, Umsetzung und Qualitätsentwicklung in jungen Eichenbeständen. *Mitt Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch* **52** : 311-371.
- ¹¹ PREUSHLER T., SCHMIDT R. [1989]. Beobachtungen auf einem spät durchforsteten Fichtenversuch. *Forstwiss. Cent.bl* **108** : 271-288.

- ¹² REVENTLOW C.D.F. [1818]. *Formeentlige Resultater af endeel fortsatte Undersøgelser angaaende Indflydelsen af Traeernes gjensidige Afstand paa deres mere eller mindre fordeeligte Vegetation*. Det kgl Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter 3, Raekke, 6.
- ¹³ ROTH B., BUCHER H.U., SCHÜTZ J.-P., AMMANN P. [2001]. Ringeln : alte Methode neu angewendet. *Wald Holz* 82(4) : 38-41 & (5) : 30-31.
- ¹⁴ SCHÄDELIN W. [1926]. Bestandserziehung. *Schweiz Z Forstwes* 77 : 1-15 & 33-44.
- ¹⁵ SCHÄDELIN W. [1934]. *Die Durchforstung als Auslese und Veredlungsbetrieb höchster Wertleistung*. Bern, Haupt, 96 p.
- ¹⁶ SCHÜTZ J.-P. [1981]. Que peut apporter le jardinage à notre sylviculture ? *Schweiz Z Forstwes* 132 : 219-242.
- ¹⁷ SCHÜTZ J.-P. [1999]. Neue Waldbehandlungskonzepte in Zeiten der Mittelknappheit : Prinzipien einer biologisch rationellen und kostenbewussten Waldpflege. *Schweiz Z Forstwes* 150 : 451-459. doi : 10.3188/szf.1999.0451.
- ¹⁸ SCHÜTZ J.-P. [2006]. Opportunities and strategies of biorationalisation of forest tending within nature-based management. In : DIACI J., ed. *Nature-based forestry in central Europe : alternatives to industrial forestry and strict preservation*. Ljubljana : Univerza Ljubljana, Studia Forestalia Slovenica 126, p. 39-46.
- ¹⁹ SCHÜTZ J.-P., GÖTZ M., SCHMID W., MANDALAZ D. [2006]. Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forests stands to storms and consequences for silviculture. *Eur. J. For. Res.* 125 : 291-302.
- ²⁰ SCHÜTZ J.-P., ZINGG A. [2007]. Zuwachsprgnose nach der sozialen Hierarchie im Entwicklungs- und Wuchsmodell SiWaWa. In : NAGEL J., ed. *Göttingen, Jahrestagung Deutscher Verband forstlichen Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde*. P. 180-187.
- ²¹ SCHÜTZ J.-P., ZINGG A. [2010]. Improving estimations of maximal stand density by combining Reineke's size-density rule and the yield level, using the example of spruce (*Picea abies* L. KARST.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Ann. Forest. Sci.* 67 : 507-518.
- ²² SCHÜTZ J.-P., ZINGG A., AMMANN P.L. [2015]. Optimizing the yield of douglas-fir with an appropriate thinning regime. *Eur. J. For. Res.* doi 10.1007/s10342-015-0865-3.
- ²³ UTSCHIG H. [2002]. Analyse der Standraumökonomie von Einzelbäumen auf langfristige beobachteten Versuchsflächen : Methoden, Programmentwicklung und erste Ergebnisse. *Forstwiss. Cent.bl* 121 : 335-348.
- ²⁴ VANOMSEN [2006]. *Einfluss der Durchforstung auf die Verankerung der Fichte hinsichtlich ihrer Sturmresistenz*. Zürich, Eidg Techn Hochschule, PhD Thesis 16532, 248 p.
- ²⁵ WILHELM G.J., RIEGER H. [2013]. *Naturnahe Waldwirtschaft mit der QD Strategie*. Berlin, Ulmer, 207 p.

Cet article est paru précédemment dans le n° 166(1) du Journal Forestier Suisse (Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen). Il est reproduit avec l'aimable autorisation de sa rédaction et de son auteur.

JEAN-PHILIPPE SCHÜTZ

jph.s@bluewin.ch

Département des sciences systémiques,

EPF Zurich

Bruggliäcker 37

CH-8050 Zurich