

Documentation du cours

1. Introduction

La valeur des noyers en forêt est reconnue depuis des décennies de même que l'engouement des forestiers à son égard. Malgré cela, à long terme, le succès qui l'entoure demeure bien modeste. Les causes de ce manque de réussite doivent être recherchées d'une part dans ses propriétés de croissance, et d'autre part aussi dans les démarches entreprises souvent sans objectif clair, peu conséquentes et accompagnée d'une méconnaissance de certains détails importants.

L'objectif de ce cours est de présenter des méthodes prometteuses de succès, d'un point de vue économique, pour la production d'un bois d'œuvre de noyer de qualité. Élagage et taille de formation y jouent un rôle essentiel.

2. Objectif de production

- Bille de qualité avec un DHP de 50 cm et plus.
- Durée de révolution de 50 à 80 ans.
- Longueur de bille (3m-) 4m à 8m. 80 à 100 individus/ha, ceci correspond à une distance finale d'en moyenne 11 à 12m.

Un objectif de production clair n'est de loin pas banal, mais très important. Les objectifs poursuivis jusqu'à présent („le plus de billes possible au prochain stade de développement“) pour le noyer en mélange individuel ont surtout et souvent seulement favorisé la diversité des essences dans le fourré et le perchis, et économiquement parlant, aucun bénéfice n'en a été tiré. Les noyers en mélange individuel, resp. sans mesures conséquentes en sa faveur, disparaissent au plus tard au stade du perchis.

3. Station

Le noyer bénéficie d'une grande amplitude physiologique. Les stations fraîches à humide, légèrement acides à basiques sont appropriées pour la production de bois d'œuvre. Le noyer présente sur les meilleures stations la meilleure croissance (là où la concurrence est la plus forte, mais cette concurrence est omniprésente). Les sols mouillés et à humidité stagnante sont inappropriés. Le noyer parvient aisément à se rajeunir sur les sols acides et secs, mais il disparaît de ces stations au stade du perchis et n'y est donc clairement pas digne de mesures en sa faveur! (littérature: notice SEBA „Noyer“ et „Station“)

Adresses et contacts:

CPP / APW Fax : 032 387 49 30 / E-mails : mayland@foersterschule.ch ou krumm@foersterschule.ch
Réseau de sylviculteurs/trices en faveur des bois précieux, Philippe Wohlhauser – pwohlhauser@gmx.ch
Peter Ammann – pluto.ammann@bluewin.ch

4. Propriétés de croissance

Les propriétés de croissance particulières du noyer sont décisives pour le succès sylvicole et économique ; il convient de s'y consacrer de manière plus approfondie.

Très forte croissance juvénile (hauteur, dimension de la couronne et DHP). Il s'agit de profiter d'une telle opportunité: et donc dès le plus jeune âge. De ce point de vue, élagage et taille de formation constituent aussi pour les noyers en mélange individuel le point à considérer: l'élagage naturel fonctionne bien, mais le noyer risque de perdre de sa vitalité lorsqu'il est éduqué dans un peuplement serré, et il est pénalisé par conséquent par une baisse de croissance en diamètre, resp. une diminution de sa faculté de réaction.

En sylviculture, on distingue la phase de compression (élagage naturel, éducation) et la phase de dimensionnement. Si l'on applique cette règle au noyer, on peut affirmer que la phase de compression n'existe pour ainsi dire pas, et qu'il se trouve dès le départ dans une phase de dimensionnement. L'éducation n'est pas assumée par le collectif, mais de manière individuelle, d'où taille de formation et élagage.

Il faut également considérer le comportement phototrope du noyer. Une source de lumière latérale ou une station en lisière provoque très rapidement courbure et port penché.

Dès le perchis sa faculté de réaction diminue fortement (type frêne). Pour cette raison la couronne doit être formée tôt (et longtemps) et être constamment libre de concurrence. En matière de longueur de bille et de dimension de la couronne aucun compromis ne doit être envisagé: mieux vaut 4m de bille et une grande couronne (et DHP) que 12m de bille, avec une couronne mal formée, qui entraîne une réduction de la faculté de réaction, un plus petit DHP et une plus petite recette (lire chap. 7).

Faible hauteur maximale : le plus grand problème du noyer à l'origine de sa faible compétitivité. Le noyer atteint une hauteur finale de 25 à 30m sur des stations fertiles. Sur les mêmes stations, le frêne atteint une hauteur de 40m, le hêtre de 45m, l'épicéa et le sapin même 50m. Face à cette concurrence, la production de bois d'oeuvre en mélange individuel est très difficile, voire illusoire : malgré de fortes interventions en jeune futaie, les individus de noyer peuvent être maintenus en vie, mais ne peuvent pas obtenir les dimensions correspondant aux objectifs poursuivis.

Le potentiel du noyer est méconnu: les hauteurs que peuvent être atteintes sous traitement optimal et avec une vitalité constante ne sont définitivement connues

Conséquences importantes: éviter la concurrence surpuissante, en prenant soin, dès le stade du perchis, de réduire la concurrence à des individus de la même espèce, resp. à des essences de petite ou moyenne à grande taille. Ceci par les mesures suivantes:

- Plantation de peuplements purs de noyer (p.ex. 800 plants /ha)

- Plantation de noyer à espacement large (p.ex. 100 à 300 plants /ha), avec un emballage
- Reprise de rajeunissement naturel de noyer, sous la condition d'avoir au moins un individu par are, avec un emballage
- Reprise de rajeunissement naturel de noyer, avec plantation complémentaire pour garantir l'espacement requis.

Toutes ces variantes ont en ceci de commun que dès le haut perchis seuls le noyer est présent dans la strate supérieure pour ainsi écarter le problème de la concurrence. L'installation de noyer se fait au moins sous forme de troupe, mieux de groupe, de bouquet ou voire même de peuplement. Un avantage important est également une localisation et une documentation plus simple (pour les peuplements que pour des individus épars p.ex. indications sur les opération d'élagage). Ces deux éléments augmentent les chances de succès à long terme.

Pour la production de bois de noyer, les jalons du succès sont posés très tôt, soit dans les 15 premières années. Le noyer offre l'opportunité d'une sylviculture intéressante avec un succès visible rapidement (le temps d'une génération de garde forestier).

5. Provenance et plantation

Quelques remarques à propos de la provenance: elle est décisive pour la qualité, la force de croissance, en résumé pour le succès, économique dans la balance des coûts et revenus (lire notice SEBA „Matériel de plantation“).

Pour la culture du noyer, on a le choix entre deux autres essences en plus du noyer commun:

- Le noyer noir d'Amérique avec les avantages suivants : meilleure aptitude à croître en hauteur et plus fin; moins sensible au pourridié
- Le noyer hybride (potentiel de croissance plus élevé, qui en fait plus un "arbre des forêts"; moins sensible au pourridié)

Les plantations mélangées présentent l'avantage bienvenu de réduire les prises de risques resp., de repousser à plus tard la sélection des candidats (pour les plantation avec plus de 100 individus/ha).

Plantation: plantation sur trou, évtl. avec tarière. Ne pas blesser les racines très pivotantes. Les noyers mal plantés subissent un fort choc de plantation et perdent de leur aptitude à croître en hauteur. Le recouvrement du collet (=plant trop profond) a une incidence négative sur la croissance.

Les plantations en ligne ou en rectangle sont plus rationnelles d'un point de vue de techniques de soins celles en carré. Pour citer un exemple, 12m x 4m est plus

Adresses et contacts:

CPP / APW Fax : 032 387 49 30 / E-mails : mayland@foersterschule.ch ou krumm@foersterschule.ch
Réseau de sylviculteurs/trices en faveur des bois précieux, Philippe Wohlhauser – pwohlhauser@gmx.ch
Peter Ammann – pluto.ammann@bluewin.ch

avantageux que 7m x 7m, les distances à parcourir étant plus courtes 800m à la place de 1400m (pour le même nombre de plants, 210 par ha). C'est un facteur important surtout si on doit non seulement dégager les noyers, mais aussi entretenir les lignes comme piste de soins culturaux.

Mesures de protection: le noyer ne se fait pas abrutir, mais frayé. Une protection contre la frayure est recommandée, surtout pour les individus (coûteux) plantés.

6. Élagage et taille de formation

L'élagage et resp. la taille de formation sont d'une grande importance dans la production de bois d'oeuvre de noyer. Ceci non seulement pour les plantations avec de larges espacements, mais aussi pour les plantations avec emballage ainsi que pour les individus issus de régénération naturelle (cf. chapitre 4).

Moment idéal pour la taille: période de la mi-juin à mi-juillet, lorsque cicatrisation et recouvrement sont optimaux, et la formation de rameau adventif est minimale. L'arbre peut corriger l'axe de la bille de manière optimale lorsque la taille de formation destinée à éliminer les fourches se fait sur les tiges de l'année. Les tailles d'août provoquent plutôt des gourmands, qui devront être éloignés l'année suivante avec des coûts supplémentaires. Ceci est valable surtout pour les jeunes individus (jusqu'à l'âge de 5 ans). En aucun cas entreprendre une taille en octobre, car les individus perdent beaucoup de sève. (Si l'on en croit des sources allemandes, la taille est recommandée en juillet/août, car le risque d'apparition de gourmands y est le plus faible et auparavant dans l'année, il faudrait compter un écoulement de sève important ?!.)

Technique de taille: ne pas tailler trop près et pas trop loin de la bille, de manière à conserver le col de la branche. Le déchirement d'écorce doit absolument être évité en tenant d'une main la branche, ou –pour les plus grosses branches- effectuer la taille en deux opérations, l'une assez éloigné de la bille pour éviter tout déchirement et l'autre pour éloigner le moignon.

Matériel: d'abord sécateurs pour les branches fines (taille de formation pour les jeunes individus), puis des scies plus tranchantes (p.ex. Felco) et des échelles avec protection contre les blessures d'écorce. Les ciseaux emmanchés ne permettent pas une taille aussi exacte qu'exigée, mais s'ils sont quand même utilisés, il faut prendre garde à s'en servir du bon côté. De l'utilisation d'échelles et de scies manuelles résulte en général un travail plus exact qu'avec des scies à tige télescopique utilisées depuis le sol. Il faut respecter les règles de sécurité! Ce n'est pas la méthode en détail qui est importante, mais son exécution soignée. Une publication à conseiller est l'ouvrage de Konrad Häne, WSL/CODOC traitant de l'élagage.

Objectif poursuivi: Les opérations de taille servent à l'éducation individuelle du noyer. D'une part il s'agit d'obtenir la formation d'un axe de tige vertical, droit et

Adresses et contacts:

CPP / APW Fax : 032 387 49 30 / E-mails : mayland@foersterschule.ch ou krumm@foersterschule.ch
Réseau de sylviculteurs/trices en faveur des bois précieux, Philippe Wohlhauser – pwohlhauser@gmx.ch
Peter Ammann – pluto.ammann@bluewin.ch

continu, et d'autre part d'obtenir un axe libre de branches. Ces deux aspects sont traités ci-dessous séparément.

Formation de l'axe:

- Élimination des fourches, des baïonnettes au profit de la tige terminale qui donne l'axe. Si nécessaire, les tailles sont réalisées chaque année sur les jeunes individus.
- S'il y a trop de branches latérales à la même hauteur, il s'agit d'en réduire le nombre à trois, afin de garantir suffisamment de force de poussée à la tige principale.
- Il s'agit de garantir à l'individu un bon équilibre (répartition régulière des branches dans chaque direction).
- Le réglage de l'équilibre peut parfois conduire à éliminer une branche en face d'une venant d'être coupée.
- Les tailles des branches latérales permettent de contrôler leur développement. De grandes blessures de taille peuvent ainsi être évitées. Malgré cela, les branches réduites à un petit nombre apportent une contribution à la croissance du jeune arbre. La taille permet aussi de corriger l'orientation des branches latérales, passant d'une orientation verticale à une orientation plus horizontale.
- Les tailles destinées à obtenir un fût droit sont effectuées jusqu'à ce que l'individu ait atteint la hauteur de bille visée, soit (3m-) 4m à 8m. (ce moment est fixé en fonction de l'objectif de production et peut varier selon l'individu). Une fois ce moment atteint, on ne touche plus à la cime de l'arbre.

Élagage:

- L'élagage s'effectue progressivement en plusieurs étapes. Il est important de veiller à conserver une couronne vitale.
- L'élagage débute généralement par le bas, mais il y a des exceptions:
- Les trop grosses branches, resp. celles qui pourraient le devenir, sont éliminées de manière préventive (aussi quand des branches sont en dessous). On évite ainsi pour plus tard une taille avec de grosses blessures.
- Il s'agit de garantir une distribution régulière des branches restantes.

La **hauteur élaguée** correspond à la longueur des billes de bois d'œuvre ; elle dépend de l'objectif poursuivi. En principe, il serait possible d'éduquer le noyer pour qu'il atteigne une bille droite et propre de 15m. De telles dimensions sont obtenues au détriment de sa couronne, de sa vitalité et de son accroissement! La recette obtenue par la vente des bois ne dépend pas seulement de la qualité, mais aussi et de manière décisive du diamètre. Ainsi les billes plus courtes généreront dans beaucoup de cas non seulement plus de valeur, et ce, plus rapidement avec moins de risque, et avec beaucoup moins d'investissement pour l'élagage!! C'est pourquoi un objectif de 4m à 8 m paraît le plus judicieux (une recherche scientifique n'existe pas à ce jour). Dans beaucoup de cas, les individus déterminent eux-mêmes la longueur de leur fût, surtout quand leur axe est très irrégulier et ne se laisse plus corriger. Dans de tels cas, il vaut mieux profiter du grand potentiel de croissance

Adresses et contacts:

CPP / APW Fax : 032 387 49 30 / E-mails : mayland@foersterschule.ch ou krumm@foersterschule.ch
Réseau de sylviculteurs/trices en faveur des bois précieux, Philippe Wohlhauser – pwohlhauser@gmx.ch
Peter Ammann – pluto.ammann@bluewin.ch

généralisé par une couronne vitale, plutôt que de se lancer dans des tailles peu convaincantes. Le chapitre prochain tente de trouver la longueur de bille optimale d'un point de vue économique.

7. Comment obtenir une longueur de bille optimale ?

La sylviculture agit par compromis : comme constaté auparavant, la longueur du fût et le diamètre croissent de manière diamétralement opposée. Soit on tente d'obtenir une longue bille au détriment de l'accroissement et du diamètre, soit on se satisfait d'une pièce de bois d'œuvre courte, mais d'un plus grand diamètre et mieux classée. On doit pouvoir trouver une variante optimale d'un point de vue économique entre ces deux variantes extrêmes. Elle peut être obtenue en prenant compte de la durée de révolution, des conditions de marché et du potentiel de croissance, tous des facteurs variables ou inconnus. Ci-dessous tout de même une table tentant de déterminer la longueur de bille optimale d'un point de vue économique.

La table ci-dessous illustre des noyers fictifs de 25 m de haut et de 60 ans Noyers avec un fût de 2m à 16m. Le diamètre (estimé!!) des individus varie respectivement à leur longueur de fût. On obtient ainsi le volume de bois d'œuvre par arbre, et pour les différentes classes de diamètre, on obtient la valeur des bois (estimée) et la recette par arbre.

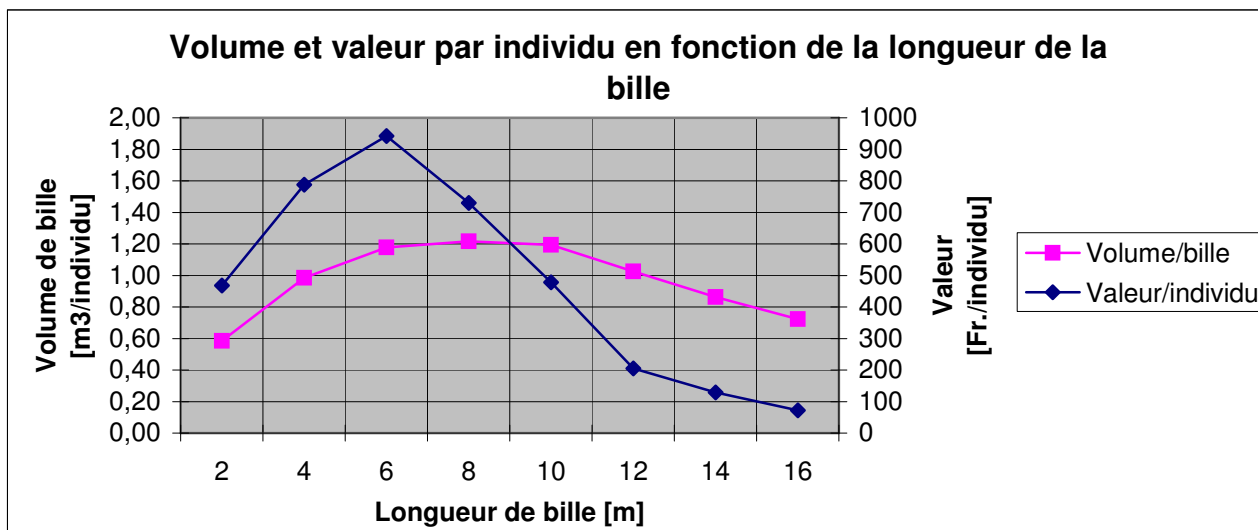
Longueur de bille/ Début de la couronne	DHP (estimation)	Diamètre en moyenne	Volume/ Bille	Classe	Prix (estimé)	Recette par individu
[m]	[cm]	[cm]	[m ³]		[FR/m ³]	[FR/individu]
2	65	61	0.58	6	800	468
4	60	56	0.99	5	800	788
6	55	50	1.18	5	800	942
8	50	44	1.22	4	600	730
10	45	39	1.19	3b	400	478
12	40	33	1.03	3a	200	205
14	35	28	0.86	2b	150	129
16	30	24	0.72	2a	100	72

- Le volume de bois d'œuvre atteint son maximum pour un fût de 8m.
- La valeur par individu atteint son maximum pour un fût de 6m. C'est elle qui est décisive.
- La valeur par individu diminue à partir d'un fût de 10 m. Le gain en longueur se fait au détriment de la dimension et du prix.
- Les suppléments en investissement dans les opérations d'élagage ne sont non seulement pas inefficaces, mais ils ont aussi une influence négative sur la valeur de l'individu (dans les conditions d'accroissement et les prix adoptés dans la calcul).

Adresses et contacts:

CPP / APW Fax : 032 387 49 30 / E-mails : mayland@foersterschule.ch ou krumm@foersterschule.ch
Réseau de sylviculteurs/trices en faveur des bois précieux, Philippe Wohlhauser – pwohlhauser@gmx.ch
Peter Ammann – pluto.ammann@bluewin.ch

Le diagramme suivant illustre les mêmes résultats:



Bien sûr ces résultats sont basés sur des hypothèses, mais ils permettent une approximation générale (une analyse sur des noyers exploités, avec des données sur la hauteur, DHP, âge, dimension et hauteur de début de la couronne. Un tel travail existe pour le frêne et l'érable)

Si l'on prend en compte le nombre d'individus par ha dans le calcul (nombre d'individus maximal avec un début de couronne le plus élevé, c'est à dire avec une plus petite couronne), l'optimum est obtenu avec une longueur de bille de 7m (mais les investissements à la plantation et en soins y sont élevés).

- **La longueur de bille optimale est de 6m si l'on considère les coûts de l'élagage avec un taux d'intérêt de 3% (sans illustration).**

Par comparaison: en France, une longueur de bille de 6m est conseillée pour les individus en forêt, et une de 4m pour les individus hors peuplement (resp. dans des plantations claires).

8. Rendement de la production de bois avec le noyer

La production de bois de noyer de haute qualité implique dans tous les cas une sylviculture intensive avec de grands investissements. Ainsi se pose la question si la production de bois de noyer est rentable économiquement, et si oui quels concepts doivent être appliqués pour obtenir le rendement recherché. Les noyers constituent de toute façon un enrichissement pour notre écosystème forestier.

Adresses et contacts:

CPP / APW Fax : 032 387 49 30 / E-mails : mayland@foersterschule.ch ou krumm@foersterschule.ch

Réseau de sylviculteurs/trices en faveur des bois précieux, Philippe Wohlhauser – pwohlhauser@gmx.ch

Peter Ammann – pluto.ammann@bluewin.ch

Les résultats suivants ont été obtenus en faisant les suppositions suivantes:

- On a un peuplement de noyers exploitable comptant 100 individus par hectare, avec un fût de 5m en moyenne, un diamètre moyen des individus en moyenne de 50 cm. On obtient ainsi 100m³ de bois d'oeuvre par hectare. (pour le concept de plantation 11m x 11m on compte seulement 83 individus, et on prend pour simplifier 100m³)
- Un prix moyen de 600 FR/m³, avec une recette brute de 60'000 FR/ha.
- Les coûts de récolte pour le peuplement définitif: 40 FR/m³, total 4'000FR/ha.
- Les coûts d'investissements sont indiqués dans la table. Pour simplifier on prend une plantation en carré. Les coûts varient selon la distance finale entre les individus, resp. du nombre d'individus.
- Les coûts des éclaircies entreprises dès le perchis sont couverts par les recettes (résultat nul) et ne joue aucun rôle dans notre calcul.
- Les 100 noyers plantés atteignent l'âge d'exploitation (taux de mortalité 0% !)

Espacement [m]		3.5	5	7	9	11
Nombre de noyers/ha		816	400	204	123	83
Noyer 1/1	15 FR/Baum	12'245	6'000	3'061	1'852	1'240
Plantation et protection contre frayure	15 FR/Baum	12'245	6'000	3'061	1'852	1'240
Élagage (maximum 200 individus/ha)	20 FR/Baum	4'000	4'000	4'000	2'469	1'653
Soins 1		2'000	1'600	1'200	900	700
Soins 2		2'000	1'600	1'200	900	700
Soins 3		2'000	1'600	1'200	900	700
Éclaircie 1		1'000	1'500	1'500	1'500	1'500
Éclaircie 2		1'000	1'000	1'000	1'000	1'000
Éclaircie 3		600	600	600	600	600
Coût de production total	Somme	37'090	23'900	16'822	11'973	9'332
Coût de la récolte	40 FR/m ³	4'000	4'000	4'000	4'000	4'000
Recette totale	600 FR/m ³	60'000	60'000	60'000	60'000	60'000
Revenu net		18'910	32'100	39'178	44'027	46'668

Résultats:

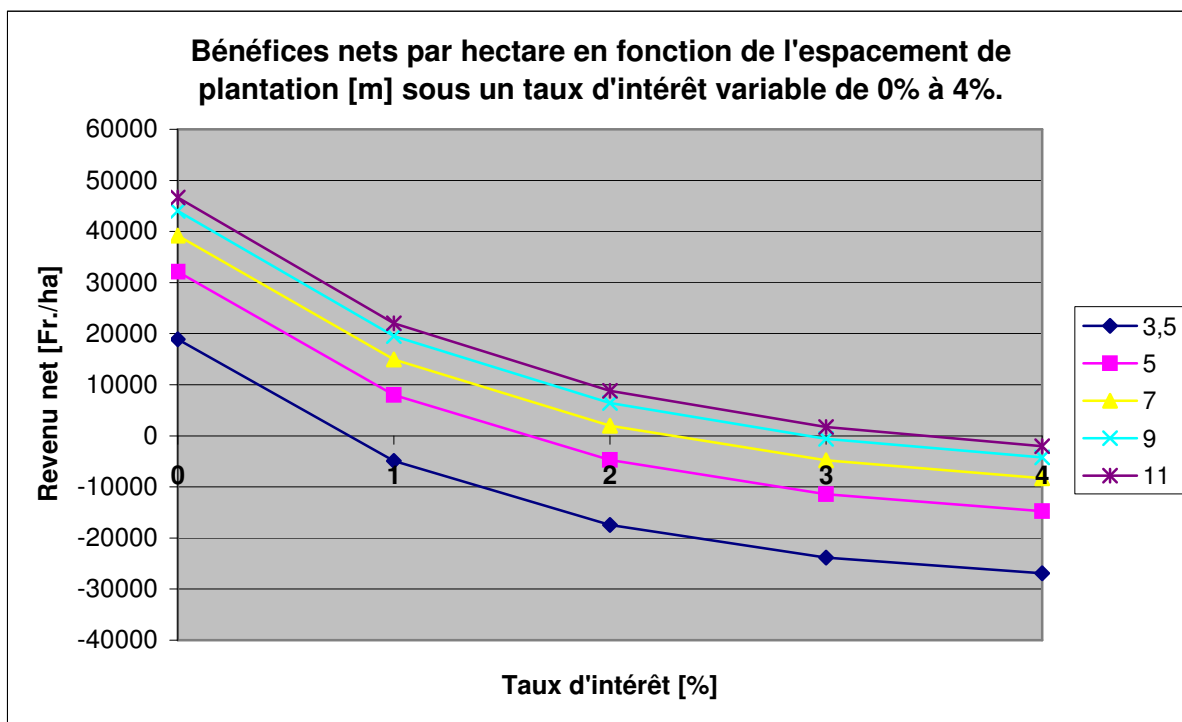
- Plus le nombre de noyers est élevé, plus le concept est cher.
- Le concept le plus cher est celui de plantation en carré de 3.5mx3.5m. Il génère un investissement de 40'000 FR/ha, un chiffre comparable aux investissements requis pour les plantations de chêne. Si la plantation résulte comme supposé dans notre table, la production de bois de noyer est tout de même un succès financier. Mais il suffit d'un prix moyen de 400 FR/m³ pour rendre ce concept déficitaire.
- Plus la distance entre les arbres est grande, plus les coûts sont faibles.
- **Pour un espacement de 10m, les investissements sont env. 4 fois moins élevés, soit 10'000 FR/ha. Pour des coûts d'exploitation de 4'000 FR/m³ avec la recette supposée, on obtient un revenu net de 45'000 FR/ha.**

Adresses et contacts:

CPP / APW Fax : 032 387 49 30 / E-mails : mayland@foersterschule.ch ou krumm@foersterschule.ch
Réseau de sylviculteurs/trices en faveur des bois précieux, Philippe Wohlhauser – pwohlhauser@gmx.ch
Peter Ammann – pluto.ammann@bluewin.ch

- Le taux de mortalité est décisif (aucun d'individu de réserve prévu). Les peuplements visités font une impression très positive à cet égard.
- **D'un point de vue économique, sont à recommander les plantations à distance finale (env. 100 ind./ha) ou au plus des plantations en rectangle de p.ex. 12mx4m ou 10mx5m avec le double nombre d'individus.**

Les réflexions précédentes ont toutes été faites sans prendre en compte les intérêts du capital investi. L'illustration suivante prend en compte les intérêts du capital investi avec un taux variable de 0% à 4%. Tous les coûts générés au moment de l'opération sylvicole sont calculés avec les intérêts et les intérêts des intérêts. Plus les coûts sont générés tôt dans le temps, plus ils ont un effet négatif sur le revenu.



- Les valeurs obtenues avec un taux de 0% correspondent aux résultats déjà discutés (cf. table ci-dessus).
- Plus le taux est élevé, plus le résultat est mauvais.
- Le point de croisement de la courbe avec l'axe 0.- Fr indique le taux d'intérêt interne. Il correspond au rendement des concepts choisis. Le rendement pour un espacement de plantation de 3.5m est seulement d'env. 0.8% (et dès 0.8% de taux d'intérêt, ce concept devient déficitaire).
- Le concept de 11m d'espacement de plantation atteint un rendement de 3.5%, ce qui n'est pas mal pour un concept de production forestière (par comparaison: l'élagage de l'épicéa atteint un rendement de 3% à 4%).
- La durée de révolution courte du noyer constitue un avantage d'un point de vue économique (plus les investissements durent dans le temps et plus ils ont un effet négatif sur le revenu)

Adresses et contacts:

CPP / APW Fax : 032 387 49 30 / E-mails : mayland@foersterschule.ch ou krumm@foersterschule.ch
Réseau de sylviculteurs/trices en faveur des bois précieux, Philippe Wohlhauser – pwohlhauser@gmx.ch
Peter Ammann – pluto.ammann@bluewin.ch

9. Littérature et information sur la toile:

Forstliche Versuchs- et Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 2005: Nussanbau zur Holzproduktion, 2. überarbeitete Auflage. Merkblatt 52/2005
http://www.fva-bw.de/publikationen/merkblatt/mb_52.pdf

HÄNE, K., 2003: Wertastung. Lehrmittel zur natürlichen und künstlichen Wertastung. CODOC et WSL. **Disponible en français** et en italien (commande : CODOC. Coordination et documentation pour la formation forestière, Postfach 339, 3250 Lyss; admin@codoc.ch).

HUBERT, M., et COURRAUD, R., 2002: Élagage et taille de formation des arbres forestiers. 3e édition. Institut pour le développement forestier, Paris.

LEFIEVRE, J., (sans année de publication): Le noyer à bois. Guide pratique de taille. Groupement de développement du noyer à bois en Aquitaine. Domaine de La Brie – 24240 Monbazillac. ISBN 2-906964-09-3.

SEBA 2004: Notice „Noyer“, documentation de cours SEBA 2004
http://www.seba.ethz.ch/pdfs/wnu_kurs_f.pdf

SEBA 2004: Notice „Élagage“, documentation de cours SEBA 2004
http://www.seba.ethz.ch/pdfs/élagage_f.pdf

SEBA 2004: Notice „Matériel de plantation“, documentation de cours SEBA 2004
http://www.seba.ethz.ch/pdfs/pflanzmaterial_f.pdf

SEBA 2004: Notice „Station“, documentation de cours SEBA 2004
http://www.seba.ethz.ch/pdfs/station_f.pdf