

ForêtNeuchâtel

Président Jean Wenger, Chemin des Longues Raies 13 - 2013 Colombier

Groupement des propriétaires et gérants de forêts privées GPGFP

Président Alain Tüller, Sandoz 21, 2105 Travers

Personne de contact :

François Godi, GG Consulting Sàrl, ch du Franoz 11, 1038 Bercher

Tél. 021 887 88 12, e-mail : ggconsulting@vtx.ch

Etude du potentiel de production en bois de haute qualité d'épicéa des forêts de l'arc jurassien

Rapport final

Période du juillet 2016 au septembre 2018



Photo J.-P. Schütz : Forêt jardinée Couvet



Avant-propos

Cette étude n'aurait pas pu se réaliser sans le soutien financier et technique de différentes institutions mentionnées ci-dessous. Nous sommes très reconnaissants pour leur soutien.

Nous remercions tous les propriétaires de forêts qui nous ont mis leur bois à disposition de l'étude, ainsi que les gardes forestiers pour leur disponibilité et intérêt pour cette étude qui a aussi éveillé des attentes de leur côté.

Les travaux et rapports techniques ont été réalisés par Sylvain Jacot, Ingénieur forestier HES (relevés de terrain), Fabien Langenegger, Laboratoire de dendrochronologie de Neuchâtel (analyses dendrochronologiques) et Prof. Dr. Ernst Zürcher (analyses physiques et mécaniques, corrélation avec les données sylvicoles). Nous les remercions pour leur engagement sans faille, ainsi que les membres des institutions qui ont travaillé sous leur direction.

Nous remercions tout particulièrement le Prof. Dr. Jean-Philippe Schütz pour ses précieux conseils lors du déroulement de l'étude.

La coordination du projet a été assurée par François Godi, Ingénieur forestier EPFZ, avec le soutien du comité de pilotage composé de Alain Tüller, Bernard Lavarini et Willem Pleines du GPGFP, de Jean Wenger, Nicolas Joss et Stéphane Jeanrichard de ForêtNeuchâtel, de Patrick Gassmann (ex-Laboratoire de dendrochronologie), de Jean-Laurent Pfund et Pierre Alfter du SFFN, de Gilbert Hirschi de Lignum Neuchâtel et de Gérard David, facteur de harpes.

Appui financier

- Office fédéral de l'environnement, Fonds pour les recherches forestières et l'utilisation du bois
- ForêtSuisse
- Service cantonal de la faune, des forêts et de la nature, Canton de Neuchâtel
- Direction générale de l'environnement, Division Forêts, Canton de Vaud
- Fondation Sophie et Karl Binding
- Fonds vaudois du bois
- Fondation Ernst Dubois
- Lignum Neuchâtel

Appui technique

- Le Laboratoire de dendrochronologie de l'Office du Patrimoine et de l'Archéologie du Canton de Neuchâtel
- La Haute école spécialisée bernoise, Architecture, bois et génie civil de Bienne HESB
- L'Ecole polytechnique fédérale de Zürich EPFZ

Jean Wenger
Président de ForêtNeuchâtel

Alain Tüller
Président du GPGFP

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	3
2. RAPPEL DU CONTEXTE	3
2.1 Les sites d'études	3
2.2 Les types de bois de qualité d'épicéa	4
2.3 La valorisation des produits de niche	4
3. RAPPEL DES OBJECTIFS	5
4. ACTIVITES REALISEES	6
4.1 Sélection du matériel et prélèvement des échantillons	6
4.2 Analyses dendrochronologiques	7
4.3 Analyses des propriétés du bois et corrélation avec la station	8
4.4 Transfert de connaissances	9
5. RESULTATS	9
5.1 Estimation du potentiel de production de bois de qualité du périmètre d'étude	9
Tab. 4 : Prix de vente des billons du projet sur le marché des bois précieux de Colombier en 2016 et 2017	11
5.2 Analyses de la qualité des échantillons	11
5.2.1 Analyses dendrochronologiques	11
5.2.1 Analyses mécaniques et physiques	13
5.3 Corrélations entre station, sylviculture et propriétés des bois	14
5.4 Méthodologie d'identification du bois de haute qualité	16
6. CONCLUSIONS	17
7. PERSPECTIVES	18
BIBLIOGRAPHIE	19
ANNEXE 1 : REVUE DE PRESSE	20

1. Introduction

L'étude du potentiel de production en bois de haute qualité d'épicéa des forêts de l'arc jurassien vise à estimer le volume de production en bois de haute qualité avec comme perspective pour le propriétaire forestier de mieux valoriser son patrimoine.

L'étude a été initiée par les associations faîtières des propriétaires forestiers ForêtNeuchâtel et le Groupement des Propriétaires et Gérants de Forêts Privées (GPGFP).

Il bénéficie du soutien du Département du développement territorial et de l'environnement du Canton de Neuchâtel à travers son Service de la faune, des forêts et de la nature, des Inspections cantonales des forêts du Canton de Vaud et du Canton du Jura, du Laboratoire de Dendrochronologie de l'Office du Patrimoine et de l'Archéologie du Canton de Neuchâtel, de la Haute école spécialisée bernoise, Architecture, bois et génie civil et de Lignum Neuchâtel et de l'Ecole polytechnique de Zürich.

Le projet a fait l'objet d'un premier rapport intermédiaire, couvrant la période de juillet à octobre 2016, présentait brièvement les préparatifs pour la première campagne de prise d'échantillons. Le deuxième rapport intermédiaire (juillet 2017) a présenté les résultats des mesures des 25 premiers échantillons récoltés dans l'arc jurassien.

Le présent rapport présente une synthèse des activités réalisées, des principaux résultats des différentes analyses, ainsi que les conclusions et perspectives issues de l'étude menée. Les rapports techniques font partie intégrante du rapport final. Le lecteur se référera à ces rapports pour les résultats détaillés (voir bibliographie).

2. Rappel du contexte

L'arc jurassien est, après le Sud des Alpes, la région la plus boisée de Suisse. Près de la moitié de l'arc jurassien (48%) est recouvert de forêt. Selon l'inventaire national IFN4, le volume sur pied d'épicéa s'élève à 21.1 mio. m³, soit près d'un tiers du volume de bois de l'ensemble de ces forêts (OFEV 2015).

Dans le contexte du marché du bois actuel en Suisse, la valorisation des produits de qualité représente, pour le propriétaire forestier, un potentiel intéressant comme le démontre les prix obtenus lors des différentes ventes de bois précieux à travers la Suisse.

Le bois d'épicéa de haute qualité et le bois de résonance en particulier sont des assortiments recherchés avec des débouchés commerciaux dépassant largement nos frontières. Ces produits sont susceptibles d'apporter une plus-value importante aux membres d'une filière organisée du producteur au consommateur final.

2.1 Les sites d'études

L'arc jurassien est la région ciblée par le projet. Les secteurs rouges présentent les sites dans lesquels des échantillons ont été prélevés, soit dans les forêts du canton de Neuchâtel et dans les forêts de la Vallée de Joux (canton de Vaud) situées au-dessus 700 m. d'altitude.

Ces forêts se distinguent d'une part par une forte proportion d'épicéa (50%) et d'autre part par un climat rude et un sol pauvre propice à une croissance lente et régulière. Elles se caractérisent depuis plus d'un siècle par une gestion forestière basée sur une pratique sylvicole respectueuse de la nature qui fait des propriétaires forestiers de ce début de 21^e siècle les héritiers privilégiés d'un patrimoine d'une grande richesse.

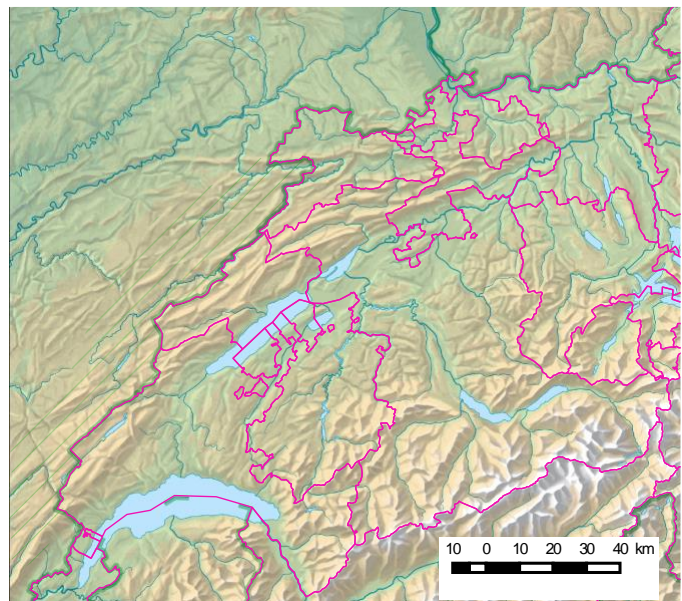


Figure 1 : Carte de l'arc jurassien
(geodata@swisstopo)

Légende : en rouge : zone d'étude ; en vert et en bleu : secteurs potentiels d'utilisation des résultats de l'étude.

2.2 Les types de bois de qualité d'épicéa

Les normes pour le bois de menuiserie / ébénisterie étant trop générales, elles ne permettent pas aux propriétaires forestiers de commercialiser les bois de haute qualité à leur juste valeur. L'étude se propose de distinguer les grumes de qualité A en trois catégories :

- le bois de résonance ou bois de lutherie qui convient à la fabrication d'instrument de musique à corde et doit répondre à des exigences de qualité très élevées,
- le bois de haute qualité qui présente des caractéristiques supérieures qu'il convient de valoriser dans des marchés de niches, telle la menuiserie haut de gamme, l'ébénisterie, coffrets et emballages précieux.
- le bois de menuiserie destiné à la fabrication de meubles ou à la décoration et à l'équipement des bâtiments (portes, fenêtre).

2.3 La valorisation des produits de niche

Sur la base des données obtenues des services forestiers, des études réalisées sur le Domaine des Cottards (Lavarini B. 2014/2, Lavarini 2016/1) et de celles de Ph. Domont (Domont Ph. 2000 et 2001), 3 % des grumes d'épicéa exploitées sont de qualité A et 1% de qualité bois de résonance.

L'utilisation du bois de résonance par les facteurs d'instruments de musique se fait à partir de planchettes débitées dans la grume selon un protocole particulier. Ces planchettes sont ensuite collées pour la réalisation des tables d'harmonie de tous les instruments à cordes. La figure 2 et le tableau 1 présentent des estimations de volume et de chiffres d'affaires annuels pour le bois de qualité A, le bois de résonance et les planchettes de résonance. Ces estimations montrent que la valorisation d'un produit de niche comme le bois de résonance, dépassent, déjà sous forme de grumes le chiffre d'affaire d'un volume beaucoup plus important de bois de qualité A.

Figure 2 : Estimation des chiffres d'affaires annuels
(Sources : données des services forestiers NE, JU, VD, AFN, manufacture d'harpes David).

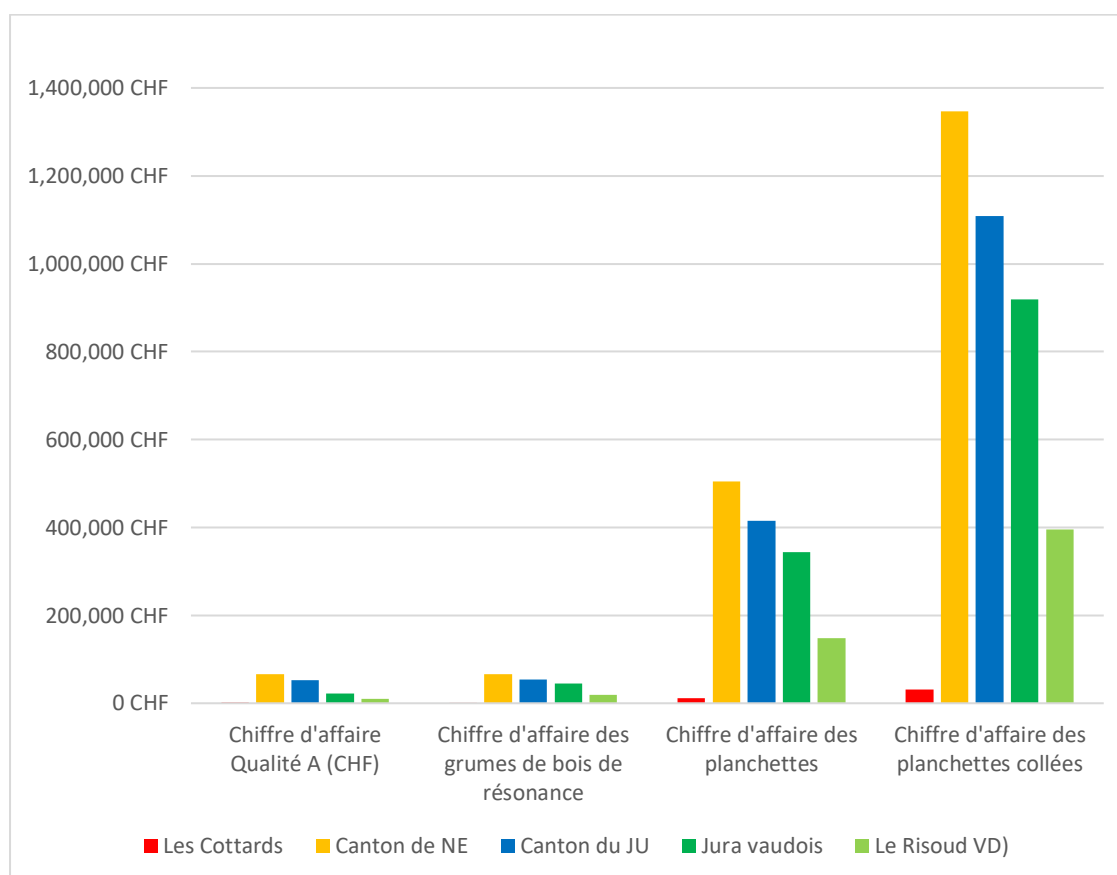


Tableau 1 : Estimation des volumes et des chiffres d'affaire
(Sources : données des services forestiers NE, JU, VD, AFN, manufacture d'harpes David).

	Les Cottards	Canton de NE	Canton du JU	Jura Vaudois	Le Risoud VD)
Volume d'épicéa exploité au-dessus de 1'000 m. (m3/an)	165	17000	13500	5'800	2500
Volume d'épicéa de Qualité A (m3/an), env. 3% du volume exploité	5	510	405	175	75
Volume d'épicéa Bois de résonance (m3/an), env. 1 % du volume exploité	2	85	70	58	25

Prix de vente de la qualité A CHF/m3 (Source AFN 2015)	130 CHF	130 CHF	130 CHF	130 CHF	130 CHF
Chiffre d'affaire Qualité A (CHF)	650 CHF	66 300 CHF	52 650 CHF	22 750 CHF	9 750 CHF
Prix de vente de la grume d'épicéa bois de résonance (CHF/m3) (Prix moyen selon Domont, 2001)	780 CHF	780 CHF	780 CHF	780 CHF	780 CHF
Chiffre d'affaire des grumes de bois de résonance	1 560 CHF	66 300 CHF	54 600 CHF	45 240 CHF	19 500 CHF
Volume de planchettes (m3) (60% du volume de la grume)	1.2	51.0	42.0	34.8	15.0
Prix de vente de la planchette de bois de résonance (CHF/m3) (Prix du marché international)	9 900 CHF	9 900 CHF	9 900 CHF	9 900 CHF	9 900 CHF
Chiffre d'affaire des planchettes	11 880 CHF	504 900 CHF	415 800 CHF	344 520 CHF	148 500 CHF
Prix de vente de la planchette de bois de résonance collée (CHF/m3) (Prix du marché international)	26 400 CHF	26 400 CHF	26 400 CHF	26 400 CHF	26 400 CHF
Chiffre d'affaire des planchettes collées	31 680 CHF	1 346 400 CHF	1 108 800 CHF	918 720 CHF	396 000 CHF

3. Rappel des objectifs

Afin de contribuer à une meilleure valorisation du bois de haute qualité d'épicéa et de promouvoir un mode de gestion sylvicole axée sur la qualité, le projet avait pour objectifs de :

- déterminer le potentiel de production du bois de haute qualité d'épicéa
- mettre en évidence la corrélation entre les caractéristiques stationnelles et sylvicoles et les propriétés et qualités des bois,
- définir des critères visuels et techniques simples pour distinguer les sciages de haute qualité et les bois de résonance.

4. Activités réalisées

4.1 Sélection du matériel et prélèvement des échantillons

La sélection des échantillons s'est basée en premier lieu sur la carte des potentiels établies en début de projet et le programme des coupes prévues. Pour rappel, la carte des zones potentielles de production de bois de haute qualité a été établie selon les critères suivants : l'altitude supérieure à 1000 m, la pente inférieure à 15°, hauteur des arbres supérieure à 25 m, géologie karst ou marne (Figure 3).

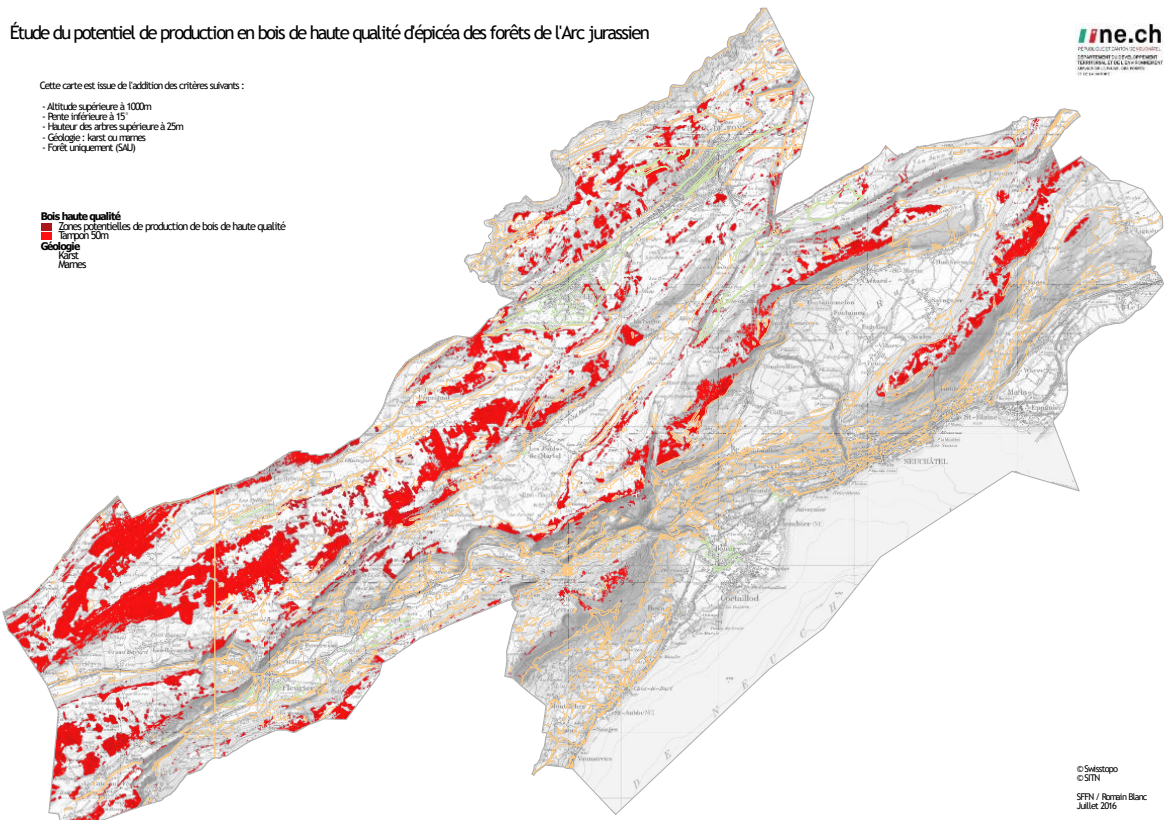


Fig. 3 Carte des zones potentielles de production de bois de haute qualité

Dans un second temps, des échantillons ont également été prélevés en dehors de ce périmètre suite à l'annonce des coupes par les gardes forestiers. Au total, 195 coupes ont été prises en compte, soit 164 dans le canton de Neuchâtel et 31 dans le canton de Vaud.

Dans chacune des coupes, le plus bel épicéa a été sélectionné sur la base des critères ci-après : l'absence de nœuds sur 5 m au moins, la rectitude du fût et un diamètre minimum de 50 cm. A qualité égale, l'arbre avec le plus gros diamètre a été choisi.

La position de l'arbre, ainsi que les données sur la station ont été récoltées afin d'avoir une situation de l'environnement de l'arbre. Pour les arbres du canton de Neuchâtel, la carte du modèle numérique des canopées établies sur les données Lidar a été utilisée pour la mesure de la hauteur de l'arbre et des concurrents. Dans le canton de Vaud, les données Lidar n'étant pas encore disponibles, les données ont été récoltées sur le terrain. Les données des procès-verbaux de martelage ont également été collectées.

Une fois les arbres abattus et débités en billon de 5 m de long, le taux d'humidité, la vitesse longitudinale du son (avec le TreeSonic de Fakopp) et l'angle de fibre ont été relevés et les bois classés selon les catégories suivantes :

Fig. 4 Mesures de la vitesse longitudinale sur le billon



Qualité A	1	Potentiel bois résonance: qq boutons < 2cm, parfaitement rond et centré, très clair (peu de bois final), fibre torse < 5cm/5m
	2	Potentiel bois haute qualité: max 10 branches sèches (sur 5m), ovale ou décentré max 10% du diamètre, bois final marqué, fibre torse 10cm/5m et plus
	3	Potentiel bois de menuiserie: max 20 branches sèches (sur 5m), ovale et décentré de plus de 10%, présence de quelques cernes de côte rouge, fibre torse 10cm/5m et plus
	4	Potentiel bois de charpente: Bois ne remplissant pas les caractéristiques des 3 premières catégories. Correspond à une qualité B selon l'Usage suisse du commerce des bois ronds.
	5	Potentiel bois de coffrage: Bois sain très nouveau. Correspond à une qualité C selon l'Usage suisse du commerce des bois ronds.
	6	Potentiel bois rouge: Bois pourri pour plus de la moitié de la section.

Ensuite pour chaque arbre, une section complète de 10 cm d'épaisseur a été tronçonnée à cinq mètres de hauteur et transportée au Laboratoire de dendrochronologie.



Fig. 4 Prélèvements de sections complètes dans les forêts de la Sagne

4.2 Analyses dendrochronologiques

Les premières observations et mesures réalisées ont eu comme buts de définir le diamètre des arbres, la largeur de l'aubier, la présence ou non de bois de réaction et la position centrée ou excentrée de la moelle. Toutes les sections ont été photographiées.

Les échantillons ont ensuite été préparés afin de pouvoir effectuer les mesures dendrométriques qui sont effectuées de préférence sur les rayons moyens. Les prélèvements effectués englobent la totalité des cernes de la moelle au cambium. Ils évitent dans la mesure du possible les défauts du bois (noeuds, zones de compression ou d'extension des cernes, bois de réaction).

D'autres prélèvements ont également été sciés pour les analyses physiques et mécaniques effectuées par la Haute école spécialisée bernoise, Architecture, bois et génie civil HESB et l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich EPFZ.

La largeur totale de chaque cerne de croissance et du bois final est mesurée au 1/100^e de mm sur une table électronique. En tout, plus de 84'000 mesures ont été réalisées. Elles ont permis de déterminer l'âge des arbres, la régularité de la croissance, la largeur du cerne moyen et la quantité de bois final.



Fig. 5 Les prélèvements destinés aux mesures dendrométriques sont obtenus à l'aide d'une scie à ruban. Chaque section d'épicéa bénéficie de deux tranches permettant de définir la croissance moyenne.

4.3 Analyses des propriétés du bois et corrélation avec la station

L'approche méthodologique choisie a été de comparer les résultats de différentes propriétés des échantillons aux résultats de différentes études réalisées en Europe afin de situer la qualité des bois prélevés dans l'arc jurassien. Ceci permet de situer de la façon la plus objective possible le niveau de qualité des meilleures billes sélectionnées dans le cadre des exploitations forestières courantes des zones élevées de la chaîne jurassienne.

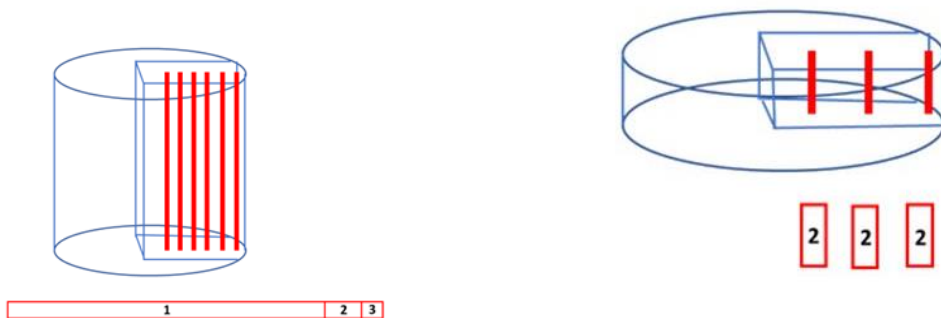
Les critères physiques et mécaniques déterminés furent les suivants :

- Densité (kg / m^3) à l'état conditionné (sur la base du poids et des dimensions)
- Vitesse de propagation du son (m/s)
- Module d'élasticité (N / mm^2)
- Résistance à la flexion (N / mm^2)
- Résistance à la compression (N / mm^2).

L'influence des conditions de croissance, comme l'altitude, l'exposition, le niveau thermique, la pente, surface terrière, etc. sur les propriétés du bois a été analysée afin de mettre en évidence d'éventuelles corrélations. Cette partie est la plus originale de ce projet, dans la mesure où il n'existe à ce jour pratiquement aucune recherche scientifique précise allant au-delà de règles très générales formulées par des praticiens.



Fig. 6 : Test acoustique d'éprouvettes longues (Ultrasonic Tester BPV Steinkamp)



Prélèvement des éprouvettes longues et tests : 1 = t. acoustiques & flexion / 2 = compression / 3 = anal. de cernes

Prélèvement des éprouvettes courtes testées en compression. La structure des cernes a été au préalable analysée.

Fig. 7 : Matériel testé en éprouvettes longues (194 pièces) et en éprouvettes courtes (395 pièces).

4.4 Transfert de connaissances

Deux conférences de presse ont été organisées au cours de la durée du projet. La première le 24 novembre 2016 aux Geneveys-sur-Coffrane pour le lancement du projet et le 10 juillet 2018 au Laténium de Neuchâtel pour la présentation des résultats de l'étude. Les deux conférences de presse se sont déroulées en présence de Monsieur Laurent Favre, Conseiller d'Etat et Chef du Département du Développement Territorial et de l'Environnement (DDTE) du canton de Neuchâtel et de représentants du canton de Vaud. Nous avons eu le plaisir d'accueillir des représentants de la télévision suisse romande et locale neuchâteloise, la radio locale neuchâteloise et la presse écrite (Arcinfo, Agri et La Forêt). Une revue de presse est présentée en annexe 1.

En outre, les premiers résultats de l'étude ont été présentés lors de la l'Assemblée générale de ForêtNeuchâtel du 15 juin 2018 à Malvilliers.

5. Résultats

Les résultats présentés ci-après sont une synthèse des différents rapports techniques. Le lecteur se référera à ces rapports pour les résultats détaillés et les références bibliographiques.

5.1 Estimation du potentiel de production de bois de qualité du périmètre d'étude

La classification des billons des plus beaux arbres sélectionnés de manière visuelle avant l'abattage montre que 67% des arbres sélectionnés ont un potentiel de qualité A, dont 8% de bois de résonance (Tableau 2).

Qualité A	1	Potentiel bois de menuiserie	39%	67%
	2	Potentiel bois haute qualité	20%	
	3	Potentiel bois résonance	8%	
	4	Potentiel bois de charpente	18%	
	5	Potentiel bois de coffrage	4%	
	6	Potentiel bois rouge	11%	

Tab. 2 : Proportion du potentiel des qualités des billons en forêt après abattage

Sur cette base et en tenant compte des éléments suivants :

- les arbres choisis n'étaient en général que légèrement supérieurs aux autres épicéas martelés,
- les martelages ont été effectués par différentes personnes selon les principes de la coupe jardinée,
- le volume des billons choisis représente 39% du volume des arbres,

- les gros bois (> 52,5 cm de diamètre) représentent 86% du volume des épicéas martelés (selon les procès-verbaux des martelages),

nous estimons que le potentiel de qualité A du volume martelé d'épicéa dans les coupes répertoriées dans l'étude est de **22,5%** dont 2,7 % de bois de résonance :

Qualité A	1	Potentiel bois de menuiserie	13,1%	22,5%
	2	Potentiel bois haute qualité	6,7%	
	3	Potentiel bois résonance	2,7%	
	4	Potentiel bois de charpente	6%	
	5	Potentiel bois de coffrage	1,3%	
	6	Potentiel bois rouge	3,6%	

Tab. 3 : Proportion du potentiel des qualités du volume martelé d'épicéa dans les coupes répertoriées dans le cadre de l'étude.

En appliquant ces pourcentages sur les volumes moyens exploités dans les différentes régions, le volume potentiel de qualité A dans l'arc jurassien neuchâtelois et vaudois est de 5'100 m³/an, respectivement de 3'825 m³/an dans le Jura neuchâtelois et de 1'305 m³/an dans le Jura vaudois. En regard des estimations initiales mentionnées au début de projet (voir tableau 1, chap. 2.3), les volumes potentiels des bois de haute qualité estimés dans le cadre de cette étude sont nettement supérieurs comme le montre le tableau ci-après (tableau 4).

Aucun échantillon n'ayant été prélevé dans le canton du Jura et dans le Jura bernois, nous n'avons pas appliqué les pourcentages potentiels de cette étude à ces régions. Il est néanmoins probable que pour l'ensemble de l'arc jurassien, le potentiel de bois d'épicéa de qualité A s'élèvent aux environs de 5'500 m³/an.

	Les Cottards (NE)	Canton de NE	Le Risoud (VD)	Jura Vaudois	Arc jurassien Total VD/NE
Volume d'épicéa exploité au-dessus de 1'000 m. (m3/an)	165	17000	2500	5'800	22'800
Volume potentiel d'épicéa de Qualité A (m3/an), 22,5%	37	3'825	563	1'305	5'130
Volume potentiel d'épicéa Bois de menuiserie (m3/an), 13,1 % du volume exploité	22	2'227	327	760	2'987
Volume potentiel d'épicéa Bois de haute qualité (m3/an), 6,7 % du volume exploité	11	1'139	168	388	1'527
Volume potentiel d'épicéa Bois de résonance (m3/an), 2,7 % du volume exploité	4	459	68	157	616

Tab. 4 : Evaluation du potentiel de production de bois selon les qualités en fonction du volume d'épicéa martelé dans le cadre de l'étude.

L'estimation de production de bois de résonance de plus de 600 m³/an dans l'arc jurassien corrobore les travaux de Ph. Domont qui dans son étude sur la mise en valeur du bois de résonance en Suisse a estimé que la Suisse disposerait d'un potentiel entre 1'000 et 3'000 m³/an (Domont Ph. 2000). En comparaison, dans les Grisons, Florinett AG exploite un volume de 300 m³/an et la société italienne Ciresa, qui commercialise aussi des planchettes, annonce un volume de 600 m³/an pour le Val de Fiemme en Italie.

La carte des zones potentielles pour la production de bois de haute qualité s'est révélée utile dans la phase de démarrage de l'étude pour cibler l'identification des coupes. Cependant, l'analyse de l'échantillonnage montre que seulement 60% des arbres sélectionnés sont à l'intérieur des zones potentielles définies. Les critères sont donc trop restrictifs. Par exemple, du bois de résonance a été identifié à une altitude de 850 m ou des pentes supérieures à 15°.

Les prix de vente

34 billons sélectionnés dans le cadre de l'étude ont été vendus aux enchères dans le cadre de la vente des bois précieux de Colombier (NE), organisée par ForêtNeuchâtel, en décembre 2016 et en décembre 2017. Le prix moyen de vente est de 241.-- CHF/m³. Le billon le plus cher a été vendu pour 700.--CHF/m³.

Dans le cadre de vente privée, les épicéas de qualité A se sont vendus lors de ces mêmes périodes entre 250.—et 1'000.—CHF/m³ (Source GPGFP).

Pour rappel le prix de vente moyen des grumes résineuses étaient en 2017 de Fr. 76,50 CHF/m³ (ForêtNeuchâtel 2018).

Code	Propriétaire	CHF/M3	Années	Potentiel
LSAPL061296	La Sagne	CHF 700	2016	BHQ
LSAPL09	La Sagne	CHF 633	2017	BHQ
LPA06	Val-de-Ruz	CHF 488	2017	BM
JOR078453	Etat NE MN	CHF 450	2016	BHQ
Lamb121	Hoirie Lambelet	CHF 433	2016	BM
Tüller2092	Conedera Marco	CHF 400	2016	BR
ZI04	Nicole Zill	CHF 278	2017	BHQ
JOR078397	Etat NE MN	CHF 275	2016	BR
FNE08	Val-de-Ruz	CHF 262	2017	BHQ
JOR088654	Etat MN	CHF 255	2016	BM
LLO04B	Le Locle	CHF 225	2017	BM
BPL13HA	Brot-Plamboz	CHF 225	2017	BHQ
DOM30A	Val-de-Ruz	CHF 225	2017	BM
MOT30	Val-de-Travers	CHF 225	2017	BR
BRG06	Etat NE MN	CHF 221	2016	BR
PRD03	Confédération	CHF 180	2017	BM
COV217	Val-de-Travers	CHF 180	2017	BM
Tüller2093	Conedera Marco	CHF 180	2016	BM
LGF07	Val-de-Ruz	CHF 166	2017	Charpente
BRV02	La Brévine	CHF 166	2017	BM
LSAB04	La Sagne	CHF 165	2017	BM
FLE02	Val-de-Travers	CHF 165	2017	BHQ
HGE01	Val-de-Ruz	CHF 156	2017	BM
BPL14HA628	Brot-Plamboz	CHF 155	2016	BHQ
LSAPL091331	La Sagne	CHF 155	2016	BM
LSAPL061311	La Sagne	CHF 155	2016	BM
LLO06	Le Locle	CHF 145	2017	BM
JOR09	Etat NE MN	CHF 145	2017	BM
SMC02	C. St-Maurice	CHF 145	2017	Charpente
DOM17B	Val-de-Ruz	CHF 136	2017	BM
JOR078699	Etat NE MN	CHF 135	2016	BM
Lamb93	Hoirie Lambelet	CHF 135	2016	BM
DOM05	Val-de-Ruz	CHF 116	2017	BM
Giroud9182	Giroud Charles-André	CHF 115	2016	BM
Prix moyen		CHF 241		

Tab. 4 : Prix de vente des billons du projet sur le marché des bois précieux de Colombier en 2016 et 2017

5.2 Analyses de la qualité des échantillons

5.2.1 Analyses dendrochronologiques

La qualité de l'échantillonnage a été analysée en fonction de trois critères, soit la régularité de la croissance, la largeur du cerne moyen et la quantité de bois final.

La variation des largeurs des cernes par rapport à la moyenne (écart-type) est un bon indice pour caractériser la **régularité des cernes**. En-dessous de 75, on peut considérer que la croissance est régulière et que l'échantillon peut entrer dans la classe des bois de résonance (figure 8). En moyenne, 54% des arbres échantillonnés entrent directement dans la classe de bois de résonance. Pour les épicéas abattus dans la Vallée de Joux, la proportion s'élève même à 78%. Dans le canton de Neuchâtel, 48% des échantillons entrent dans la classe de bois de résonance. La répartition géographique de ces arbres montre clairement un potentiel plus important dans la région de la Brévine.

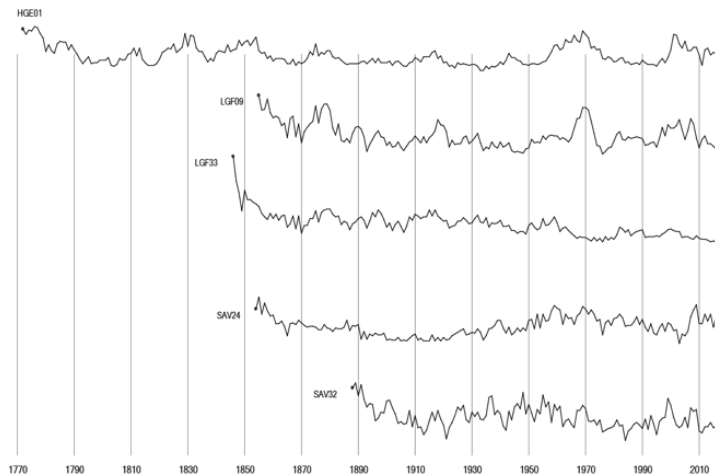


Fig. 8 Courbes dendrochronologiques d'épicéa du Val-de-Ruz qui présentent un écart-type en dessous de 75.

Un minimum de **bois final** (partie du cerne annuel qui se forme en été jusqu'à la fin de la période végétative) assure une plus grande légèreté au bois et une meilleure résonance. Le 97% des bois étudiés présente un pourcentage de 20% ou moins de bois final (figure 9). La proportion ne dépasse donc presque jamais la limite fixée au début de l'étude à 20% du cerne total au maximum (valeur idéale selon les ouvrages de référence consacrés au bois de résonance tels que Buksnowitz et al. 2006 ou Zieger 1960).

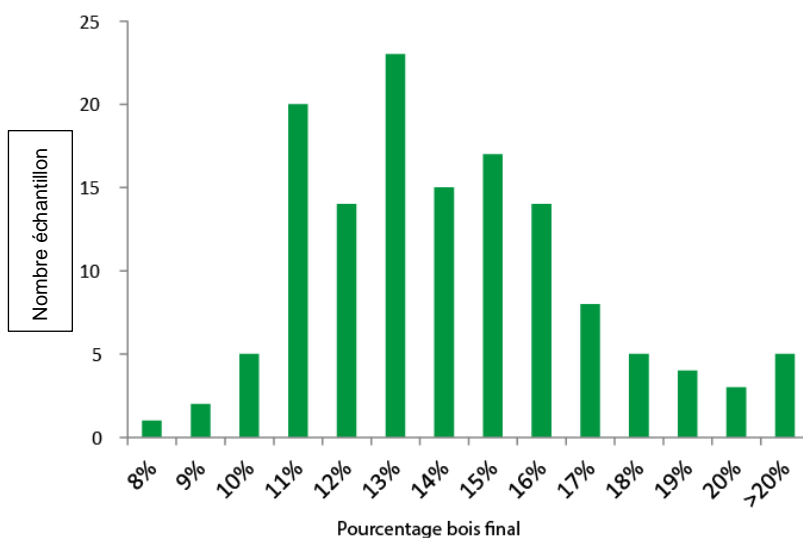


Fig. 9 : Nombre d'échantillons mesurés par classe de pourcentage de bois final

Pour le bois de résonance, **la largeur moyenne des cernes** de croissance est importante et destine un épicéa à un certain type d'instruments de musique ; pour les violons, une largeur moyenne de 1 à 1,5 mm est recherchée. Une croissance plus importante de 1,5 mm à 2,5 mm est désirée par les facteurs de pianos et de harpes et 3 à 4 mm pour la fabrication d'un violoncelle. Dans la pratique, la possibilité d'offrir une gamme étendue de largeurs de cernes est importante car les luthiers peuvent avoir des exigences différentes pour la fabrication d'un même type d'instrument.

Parmi les épicéas analysés, la largeur moyenne varie de 0,7 mm à 3,16 mm et sont donc tous potentiellement valorisables comme bois de résonance, au moins partiellement. Quatre épicéas présentent une croissance moyenne en dessous du millimètre et ils viennent tous de la Vallée de Joux.

Les mesures effectuées en coupe transversale des échantillons confirment les résultats ci-dessus relatifs à la régularité et à la largeur des cernes.

La classification des échantillons basée sur l'analyse des critères dendrochronologiques des tranches de sections indique un potentiel de bois de résonance de 68%, de bois de haute qualité de 27% et de bois de menuiserie de 5%.

5.2.1 Analyses mécaniques et physiques

La **densité** moyenne de l'ensemble des échantillons est de 432 kg/m³. Les billons classés comme bois de résonance après l'abattage ont une densité moyenne de 456 kg/m³. Ces valeurs se situent dans la fourchette 430 à 470 kg/m³ admises dans différents ouvrages de référence consacrés au bois de résonance. Du point de vue de la densité du bois, les épicéas des massifs forestiers de l'arc jurassien représentent donc un potentiel important de production de bois de haute qualité.

La **vitesse moyenne de propagation longitudinale du son** de l'ensemble des échantillons est de 5'729 m/s. Cette valeur se situe dans la fourchette 5'600 à 6'000 m/s admise dans différents ouvrages de référence consacrés au bois de résonance. La vitesse maximale mesurée était de 6'302 m/s. Donc du point de vue de la vitesse longitudinale de propagation du son les épicéas des massifs forestiers de l'arc jurassien représentent également un potentiel important de production de bois de haute qualité.

Le critère qualitatif principal pour du bois de résonance est le **Coefficient de Résonance** (QR = rapport entre la vitesse longitudinale du son et la densité). Les valeurs des 193 échantillons sont dans l'ensemble excellentes, la plupart étant supérieure à la valeur référence de 12 m⁴/s*kg (figure 10). Le coefficient de résonance maximal mesuré était de 17.2 m⁴/s*kg. La comparaison avec la répartition du Coefficient de Résonance QR dans l'analyse acoustique de 1200 tables d'harmonie de guitares (Ziegenhals 2001) confirme parfaitement l'excellente répartition des valeurs obtenues pour les bois de l'arc jurassien (figure11). Ces valeurs sont équivalentes, voire supérieures aux valeurs rapportées pour les Grisons et Paneveggio.

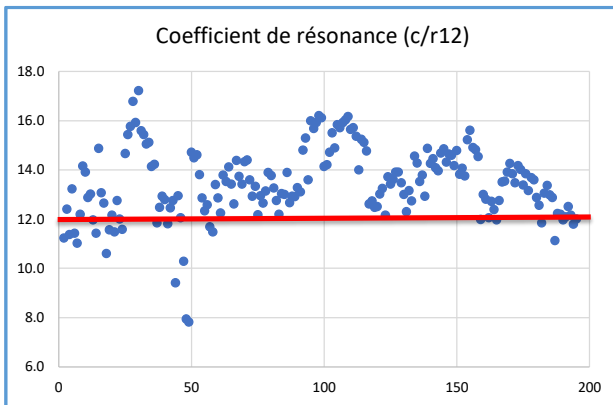


Figure 10 : Distribution des Coefficients de Résonance pour les 193 échantillons longs testés dans les laboratoires de l'EPFZ, avec indication du seuil de référence de 12, permettant des comparaisons.

oben von Gitarrendeckennarten wurde der zwischen den bekannten, messbaren Resonanzkennwerten und der subjektiven Beurteilung der Holzarten bzw. der Fertiginstrumente untersucht:

- 5 Einzeldeckenhälften Schwarzwaldfichte, 5 halbe Einzeldeckenhälften Schwarzwaldtanne, 6 Einzeldeckenhälften Fichte
- 10 Einzeldeckenhälften Schwarzwaldtanne, 21 Einzeldeckenhälften Schwarzwaldfichte, 11 Einzeldeckenhälften Schwarzwaldtanne. Aus diesen Decken wurden im

Figure 11 : Distribution des Coefficients de Résonance pour 1200 tables d'harmonie de guitares (Ziegenhals 2001), avec indication du seuil de référence de 12.

Un autre critère qualitatif du bois de résonance est la **distribution du coefficient de Résonance en fonction de la densité** (figure 12). Les bois les plus appréciés possèdent à la fois une haute vitesse longitudinale de propagation du son, tout en étant de faible densité, clairement en-dessous de la valeur moyenne pour l'épicéa (470 kg/m³) comme le montre le diagramme ci-après. Autant pour le critère *Coefficient de Résonance* que pour le critère *Basse densité*, les valeurs obtenues dans l'étude ont une distribution très intéressante.

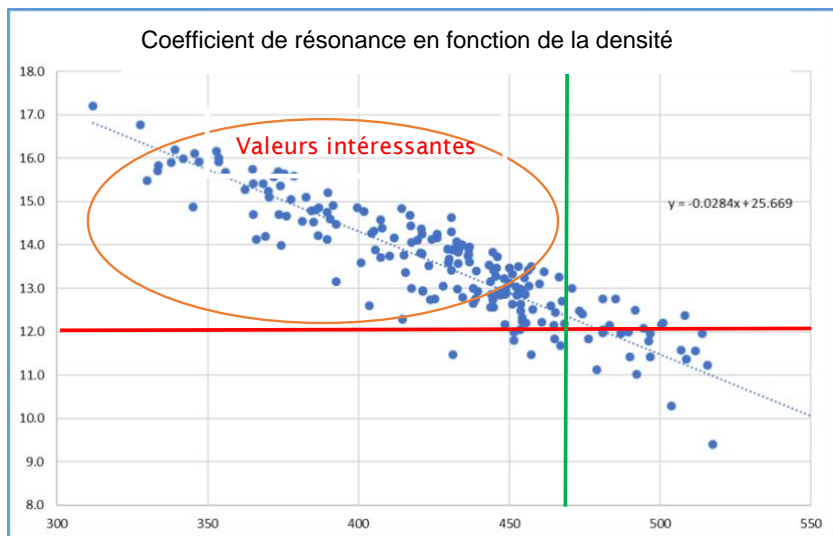


Figure 12 : Distribution des Coefficients de Résonance en fonction de la densité avec indication des seuils de référence pour l'arc jurassien.

En comparant les résultats avec ceux de l'étude effectuée par Sonderegger, Alter et Niemz (2008) sur un ensemble de 160 échantillons sélectionnés comme caractéristiques pour du bois de résonance (figure 13), on constate que la distribution des valeurs du coefficient de résonance est proportionnellement inférieure à la distribution des bois échantillonnés de l'arc jurassien. Autrement dit, il existe potentiellement une plus grande proportion de bois de haute qualité dans l'arc jurassien qu'aux Grisons.

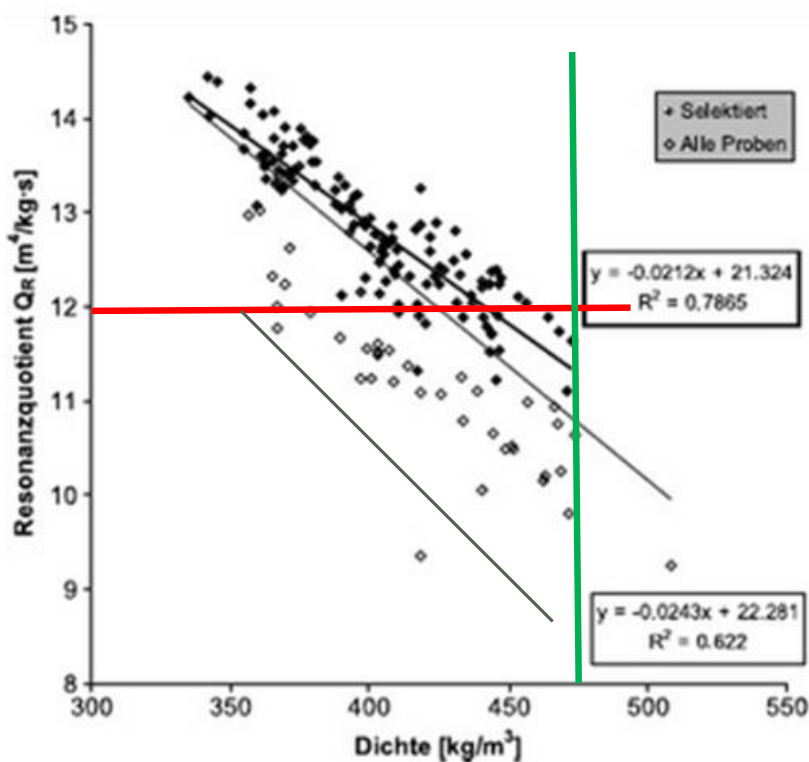


Figure 13 : Relation Quotient de résonance / Densité, telle que représentée dans Sonderegger et al. (2008). Les valeurs indiquées en foncé furent obtenues en éliminant un certain nombre d'arbres de classement inférieur. « Resonanzquotient » = quotient de résonance / « Dichte » = densité.

5.3 Corrélations entre station, sylviculture et propriétés des bois

Du point de vue du critère altitudinal, les massifs forestiers des hauteurs jurassiennes offrent leur potentiel de bois de haute qualité, et en particulier de résonance, déjà à partir de 800 m environ et ce jusqu'à une altitude de 1400 m. Des billons de l'étude classés visuellement comme « bois de résonance » avaient en effet été trouvés à partir de l'altitude de 850 m environ. Néanmoins, l'effet de l'altitude sur la densité n'est que faiblement décelable pour le matériel testé.

L'analyse de la largeur des cernes en fonction de l'emplacement des arbres selon un axe Ouest (océanique) - Est (continental) donne une très faible corrélation ($R^2 = 0.17$).

Aucune tendance significative ne se dégage de l'étude de l'exposition, du niveau thermique, de la topographie, du type de sol, de la profondeur du sol, de l'association végétale comme facteur d'influence sur les structures ou les propriétés des bois testés dans le cadre de cette étude. Néanmoins, les pentes locales les plus fréquentes caractérisant l'emplacement des arbres choisis se situent entre 10 et 40%. Cela relativise la règle que les bois de haute qualité (et en particulier de résonance) croîtraient en particulier sur des topographies localement planes.

La hauteur moyenne des arbres à la base de cette étude est de 35.4 m. Une part importante de 78% est comprise entre les valeurs de 31 m et 42 m. Ceci permet de déduire que des bois de haute qualité sont fournis par des arbres de taille relativement importante. La taille de l'arbre n'a cependant dans cette étude pratiquement aucune influence sur la largeur des cernes. Les arbres sélectionnés font cependant clairement partie de la strate dominante.

L'étude des critères suivants comme facteur d'influence sur la structure des cernes ou la densité du bois n'a pas dégagé de corrélation significative :

- la longueur de la couronne,
- la surface terrière de la cellule d'influence,
- le nombre de tiges de la cellule d'influence,
- le volume de la cellule d'influence,
- la forme des branches,
- la composition du peuplement.

L'analyse de la structure et de la composition des peuplements laisse apparaître une grande plasticité pour ce qui est de l'obtention de bois de haute qualité, respectivement de résonance. Cette analyse, effectuée critère par critère, ne montra que peu ou pas d'effet sur les structures et propriétés des bois présélectionnés dans les parterres de coupe. Il est peu probable qu'une analyse multifactorielle n'apporte plus de clarté.

Des quotients de résonance élevés (> 12) sont à observer dans toutes les catégories de classification de billes issus de zones aptes à fournir des bois de lutherie dans l'arc jurassien. Ceci justifie la pratique de l'élagage dans le but de réduire la nodosité de tiges susceptibles de fournir dans le futur des bois de haute qualité (BHQ) et de résonance (BR).

Bien qu'aucun élément permettant de privilégier un type de sylviculture ne ressortent de cette étude, il convient de rappeler qu'une gestion en forêt jardinée ou de type jardinée est favorable à la régularité de la croissance. Comme le montre la figure 14, la croissance du diamètre augmente rapidement en futaie régulière et atteint vite un maximum et diminue ensuite considérablement. En forêt jardinée, la croissance en diamètre demeure dans les jeunes années à un bas niveau, elle augmente peu à peu et reste ensuite constante longtemps avant de diminuer lentement.

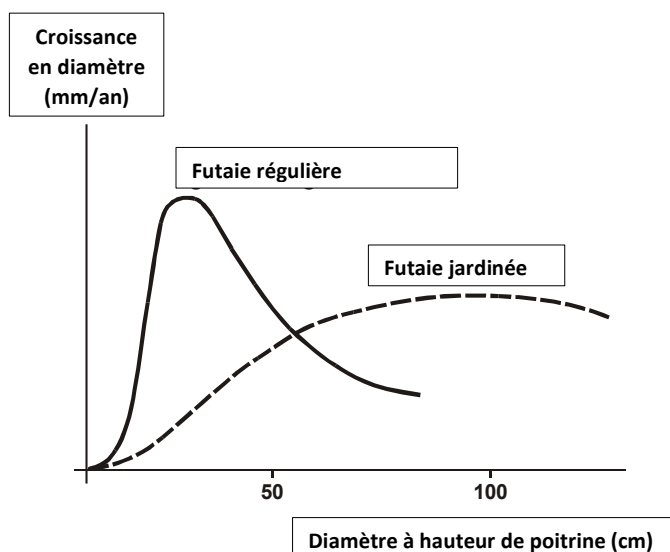


Figure 14 : Comparaison de la croissance du diamètre entre futaie régulière et futaie jardinée (Schütz J.P. 2001)

5.4 Méthodologie d'identification du bois de haute qualité

La méthodologie suivante développée au cours de l'étude peut être appliquée pour une bonne identification du bois de haute qualité. Les étapes sont les suivantes :

1. Première identification lors du martelage avec les critères visuels suivants :

- Absence de nœuds sur 5 m au moins
- Rectitude du fût
- Diamètre DHP minimum de 50 cm

Marquer les arbres avec un signe distinctif, par exemple « BHQ »

2. Après l'abattage, classer les bois identifiés en trois catégories selon les critères suivants :

- **Potentiel bois résonance** : quelques boutons < 2cm, parfaitement rond et centré, très clair (peu de bois final), fibre torse < 5cm/5m, largeur des cernes inférieure à 4 mm, croissance régulière des cernes à 5m.
- **Potentiel bois haute qualité** : max 10 branches sèches (sur 5m), ovale ou décentré max 10% du diamètre, bois final marqué, fibre torse 10cm/5m et plus, largeur des cernes inférieure à 4 mm, croissance régulière des cernes à 5m.
- **Potentiel bois de menuiserie** : max 20 branches sèches (sur 5m), ovale et décentré de plus de 10%, présence de quelques cernes de côte rouge, fibre torse 10cm/5m et plus, largeur des cernes inférieure à 4 mm, croissance régulière des cernes à 5m.

En fonction de la quantité, créer un ou deux lots et chercher un acheteur ou proposer les billons au marché annuel des bois précieux de votre région, par exemple à la vente annuelle des bois précieux de ForêtNeuchâtel à Colombier (NE).

6. Conclusions

Au terme de l'étude, nous pouvons affirmer que l'arc jurassien détient un réservoir très important de bois d'épicéa de haute qualité avec un potentiel de production d'environ 5'500 m³/an de bois de qualité A, dont plus de 600 m³/an de bois de résonance. En regard des estimations initiales mentionnées en début de projet, ce potentiel est nettement supérieur aux attentes et représente des volumes comparables aux sites reconnus en Russie, Roumanie et Italie.

Les analyses dendrochronologiques, physiques et mécaniques des échantillons prélevés confirment l'exceptionnelle qualité des épicéas de l'arc jurassien liée probablement à leur caractère génétique, mais aussi à la gestion en futaie jardinée qui favorise la régularité de la croissance des cernes. Ci-après quelques valeurs remarquables :

- 97% des échantillons présente un pourcentage inférieur à 20% de bois final (valeur idéale selon les ouvrages consacrés au bois de résonance).
- La largeur moyenne des épicéas analysés varie de 0,7 mm à 3,16 mm et sont tous potentiellement valorisable comme bois de résonance au moins partiellement.
- La densité moyenne de l'ensemble des échantillons est de 432 kg/m³, soit dans la fourchette 430 à 470 kg/m³ admises dans différents ouvrages de référence consacrés au bois de résonance.
- La vitesse moyenne de propagation longitudinale du son de l'ensemble des échantillons est de 5'729 m/s. Cette valeur se situe dans la fourchette 5'600 à 6'000 m/s admises dans différents ouvrages de référence consacrés au bois de résonance.
- Le coefficient de résonance (rapport entre la vitesse longitudinale du son et la densité) de la plupart des échantillons est supérieure à la valeur référence de 12.

Sous réserve de respecter les conditions forestières, le mode sylvicultural en futaie jardinée et des méthodes de récolte soignées, le potentiel de production de ce réservoir d'épicéa de haute qualité est pratiquement inépuisable.

Une meilleure valorisation de ce potentiel devrait se traduire par la pratique de l'élagage pour réduire la nodosité de tiges susceptibles de fournir dans le futur des bois de haute qualité, par des actions de tri des billons, le développement d'une logistique (stockage, transport, contacts avec les scieurs, les marchands, etc.) et finalement par la création, dans l'arc jurassien, d'une filière apte à transformer et à fournir, d'une part des produits de haute qualité répondant à la demande suisse et internationale en menuiserie et ébénisterie haut de gamme, et d'autre part des produits utilisables par les facteurs d'instruments de musique.

L'étude a également mis en évidence que le réservoir de bois de résonance de l'arc jurassien est comparable voire plus important que ceux des Grisons ou du Val de Fiemme en Italie. Ces régions se sont organisées, avec le soutien de l'Etat, pour élaborer des produits directement utilisables par les facteurs d'instruments de musique du monde entier. Les bois de résonance de l'arc jurassien aux caractéristiques spécifiques ont donc une place à prendre sur le marché mondial, en particulier en Chine, au Japon, aux USA et en Europe.

7. Perspectives

Les résultats de l'évaluation du potentiel de production confirment, en termes de qualité et de quantité, l'existence d'un réservoir d'épicéa de haute qualité dans l'arc jurassien et l'intérêt de mieux valoriser ce matériel.

Les initiateurs du projet, ForêtNeuchâtel et le GPGFP, estiment nécessaire de passer à une 2^{ème} phase du projet et de mener une étude du potentiel du marché pour ces produits de haute qualité afin de déterminer les acteurs, leurs besoins, leurs procédures d'achat, leurs volumes de consommation et les qualités exigées. L'étude devrait avoir pour objectif de déterminer les possibilités de commercialisation de produits de bois de haute qualité d'épicéa en Suisse et en particulier au niveau international pour le bois de résonance. Elle devrait aussi permettre d'identifier, les acteurs potentiellement intéressés à cette filière et déterminer les champs d'action et mesures à mettre en œuvre pour mettre en place dans les prochaines années une filière Bois d'épicéa de haute qualité dans l'arc jurassien.

François Godi
GG Consulting Sàrl

Jean Wenger
Président de ForêtNeuchâtel

Alain Tüller
Président du GPGFP

Colombier, 27 septembre 2018

Bibliographie

Buksnowitz et al (2006) :

Resonance wood [*Picea abies* (L.) Karst.] - Evaluation and prediction of violin makers' quality-grading

Domont Ph., 2000

Mise en valeur des bois de résonance en Suisse. Rapport final à l'intention du Fonds pour les recherches forestières et l'utilisation du bois, Direction fédérale des forêts, Berne. 46 p

Domont Ph., 2001

Sans forêts de montagne, pas de musique. In : Silviva (éd). Tourisme durable grâce à la gestion durable des forêts de montagne. Dossier d'information Journée internationale de la forêt, Birmensdorf : Silviva, p. 21-24.

ForêtNeuchâtel 2018

Rapport annuel 2017.

Jacot Sylvain, 2018

Rapport final 2018, Etude du potentiel de production en bois de haute qualité d'épicéa des forêts de l'arc jurassien, La Sagne, 26 p.

Langenegger Fabien, 2018

Étude du potentiel de production en bois de haute qualité d'épicéa des forêts de l'arc jurassien : analyses dendrochronologiques. Laboratoire de dendrochronologie, Neuchâtel.

Lavarini B., 2014/1

Pour la création d'une filière de résonance dans le canton de Neuchâtel (note non publiée).

Lavarini B. 2014/2

Etude prospective pour déterminer les possibilités de production soutenue et de commercialisation des bois de résonance du Canton de Neuchâtel du 11-11-2014 (note non publiée).

Lavarini B., 2016/1

Hypothèses de calcul du chiffre d'affaire réalisable par la vente des épicéas de classe A et de résonance pour l'arc jurassien du 4 -1- 2016 (note non publiée).

OFEV (Ed.) 2015

Annuaire La forêt et le bois 2015. Office fédéral de l'environnement, Berne. Etat de l'environnement N° 1520: 162 p.

Schütz J.P. 2001

Der Plenterwald, Parey, 2001, 207 p

Ziegenhals, G. (2001)

"Resonanzholzmerkmale von Gitarrendecken," ("Resonance wood properties"), Fachausschuss Musikalische Akustik in der DEGA, Sept. 2001, 20–23.

Zieger E. 1960

Untersuchungen über äussere Merkmale, Holzeigenschaften und forstgeographische Vorkommen der Resonanzholzqualitäten bei Fichte und einige andere Holzarten. Mitt. Staatsforstverwaltung Bayerns (1960). Heft 31:285-298

Zuercher Ernst 2018

Rapport Projet Bois de Haute Qualité. Haute école spécialisée bernoise / Architecture, Bois et Génie civil, Bienne.

Annexe 1 : Revue de presse

Revue de presse suite à la Conférence de presse du 24.11.16

Radio/TV

Liens des différents reportages (à voir et écouter) :

- RTS / téléjournal 19:30 du 24.11.16 : <http://www.rts.ch/play/tv/19h30/video/le-secteur-du-bois-veut-se-specialiser-dans-le-bois-de-haute-qualite?id=8190930>

- CanalAlpha: téléjournal du 24.11.16 : <http://www.canalalpha.ch/actu/qualite-du-bois-neuchatelois-touchez-moi-ca/>

- RTN 24.11.2016 : <http://www.rtn.ch/rtn/Actualites/Journaux-audio/Journaux-audio-1.html?pid=3145763>

Articles dans la presse écrite

Express du 25.11.2016

Agri du 2.12.2016

La Forêt, N° 2/2017

Revue de presse suite à la Conférence de presse du 10.07.18

Radio/TV

Liens des différents reportages (à voir et écouter) :

- CanalAlpha: téléjournal du 11.07.18 <http://www.canalalpha.ch/actu/nos-forets-regorgent-de-pepites-il-faut-les-exploiter/>

- RTN 11.07.2018 : Promenons-nous dans les bois... à la recherche de trésors
<http://www.rtn.ch/rtn/Actualites/Journaux-audio/Journaux-audio-1.html?pid=3145763>

Articles dans la presse écrite

ARCINFO du 19.07.2018

La Forêt, N° 8/2018

Journal forestier suisse, 5/2018